

TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS DAN *REDESIGN GRID PLATE POSITIVE*  
DAN *NEGATIVE LEAD-ACID BATTERY* DENGAN  
SIMULASI DISTRIBUSI ELEKTRON YANG MERATA  
UNTUK MENINGKATKAN *SERVICE LIFE* PADA  
*LEAD-ACID BATTERY*  
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

MUHAMMAD IHSAN  
NRP 2112 100 148

Dosen Pembimbing  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**ANALISIS DAN *REDESIGN GRID PLATE POSITIVE*  
DAN *NEGATIVE LEAD-ACID BATTERY* DENGAN  
SIMULASI DISTRIBUSI ELEKTRON YANG MERATA  
UNTUK MENINGKATKAN *SERVICE LIFE* PADA  
*LEAD-ACID BATTERY*  
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

**MUHAMMAD IHSAN**  
NRP 2112 100 149

Dosen Pembimbing  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**ANALYSIS AND REDESIGN OF GRID  
CONFIGURATION USING FEA METHOD TO  
IMPROVE SERVICE LIFE ON LEAD ACID BATTERY  
(AT PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

**MUHAMMAD IHSAN  
NRP 2112 100 149**

**Student Advisor  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

**ANALISIS DAN REDESIGN GRID PLATE POSITIVE  
DAN NEGATIVE LEAD-ACID BATTERY DENGAN  
SIMULASI DISTRIBUSI ELEKTRON YANG MERATA  
UNTUK MENINGKATKAN SERVICE LIFE PADA  
LEAD-ACID BATTERY  
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHAMMAD IHSAN**

NRP. 2112 100 149

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc  
NIP. 196303141988031002 (Pembimbing)
2. Ari Kurniawan Saputra, ST, MSc  
NIP. 19860401201504100 (Penguji I)
3. Dinny Harnany, ST, MSc  
NIP. 2100201405001 (Penguji II)
4. Wahyu Wijanarko, ST, MSc  
NIP. 198202092012121001 (Penguji III)



**SURABAYA**

**JULI, 2017**

**ANALISIS DAN *REDESIGN GRID PLATE POSITIVE*  
DAN *NEGATIVE LEAD-ACID BATTERY* DENGAN  
SIMULASI DISTRIBUSI ELEKTRON YANG  
MERATA UNTUK MENINGKATKAN *SERVICE LIFE*  
PADA *LEAD-ACID BATTERY*  
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Muhammad Ihsan</b>
<b>NRP</b>	<b>: 2112100149</b>
<b>Jurusan</b>	<b>: Teknik Mesin FTI-ITS</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc</b>

**Abstrak**

Aki asam timbal merupakan produk baterai yang paling banyak dipakai selama ini. Rendahnya usia baterai asam timbal disebabkan oleh pembentukan garam timbal sulfat yang tidak bisa diurai kembali jika mengalami *undercharge* atau karena rontoknya masa aktif jika mengalami *overcharge*. Komponen utama aki yang berfungsi sebagai penghantar elektron menuju seluruh masa aktif adalah grid yang dibuat dari bahan Pb yang kurang baik konduktifitasnya. Desain grid yang baik harus mampu mendistribusikan elektron ke seluruh massa aktif sehingga bisa mengurangi korosi dan sulfasi grid apabila terjadi *overcharge* dan *undercharge*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis dan *redesign grid plate positive* dan *negative* yang difokuskan pada distribusi elektron yang merata. Metoda yang digunakan adalah dengan melakukan permodelan FEA terhadap grid dan mensimulasikan perpindahan panasnya untuk mendapatkan hasil distribusi panas pada tiap desain. Perpindahan panas pada grid digunakan sebagai pendekatan terhadap distribusi elektron mengingat hubungan antara konduktivitas listrik dengan konduktivitas panas berbanding lurus pada material Pb.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain grid CK 0.9 memiliki distribusi elektron yang lebih seragam 14.879% dibandingkan dengan desain grid CK 1.4. Untuk meningkatkan keseragaman distribusi elektron, dapat ditambahkan material Pb sebanyak 2 gram pada penghantar grid. Penambahan material tersebut terbukti menghasilkan peningkatan 15.215% pada *redesign* grid CK 1.4, dan peningkatan 24.837% pada *redesign* grid CK 0.9. Apabila penambahan material diiringi dengan pemindahan posisi *lug* ke tengah, hal tersebut dapat meningkatkan keseragaman sebesar 21.659% pada *redesign* grid CK 1.4 dan 32.250% pada *redesign* grid CK 0.9.

**Kata kunci:** *Lead-Acid Battery, Grid Design, Service Life*

**POSITIVE AND NEGATIVE PLATE GRID  
ANALYSIS AND REDESIGN BASED ON  
ELECTRONIC DISTRIBUTION SIMULATION TO  
IMPROVE SERVICE LIFE ON LEAD ACID  
BATTERY  
(AT PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

**Name** : Muhammad Ihsan  
**NRP** : 2112100149  
**Major** : Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Student Advisor** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

**Abstract**

Lead acid battery is the most widely used battery product. Lifetime shortening of lead-acid battery is caused by formation of lead (II) sulfate which can not be restored when it run into undercharge condition or due to active material degradation when run into overcharge condition. Main component of the battery that conduct electrons to entire active material are grid made from Pb that has poor electrical conductivity. A good grid design should be able to distribute electrons throughout the active mass, so it can reduce grid corrosion and sulfation in overcharge and undercharge conditon.

In this research, analysis and redesign of positive and negative grid plate are focused on the electrons distribution. FEA method is used by modeling the grid and simulating its heat transfer to obtain a heat distribution result on each design. The heat transfer on the grid is used as an approximation to the electron distribution, considering relationship between electrical and thermal conductivity is directly proportional to the Pb material.

The results of this study indicate that the CK 0.9 grid design has better electron distribution uniformity by 14.879% compared to the CK 1.4 grid design. To increase the uniformity of electrons distribution, 2 grams of Pb material can be added on the

grid wires. The addition of the Pb material to redesigned grid increase its uniformity by 15.215% on CK 1.4 and 24.837% on CK 0.9. In the other hand, when the addition of material and translocation of the lug position to the center are done, it can increase electrons distribution uniformity of redesigned grid by 21.659% on CK 1.4 and 32.250% on CK 0.9.

***Keywords: Lead-Acid Battery, Grid Design, Service Life***



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul: “Analisis dan *Redesign Grid Plate Positive dan Negative Lead-Acid Battery* dengan Simulasi Distribusi Elektron yang Merata untuk Meningkatkan *Service Life* pada *Lead-Acid Battery*”. Pada kesempatan kali ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua tercinta, Bapak **Prayitno** dan Ibu **Dwi Sasanti**, untuk segala doa, pengorbanan, motivasi, kasih dan sayang yang tiada henti terus diberikan kepada penulis.
2. **Ir. Witantyo, M.Eng.Sc** selaku dosen pembimbing pada tugas akhir. Terima kasih atas segala bimbingan, waktu, kritik dan saran yang selalu bapak berikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Wahyu Wijanarko, ST, MSc, Ari Kurniawan Saputra, ST, MT, Dinny Harnany, ST, MSc**, selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas waktu dan saran yang telah diberikan.
4. **Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, PhD**, selaku Kepala Departemen Teknik Mesin FTI-ITS sekaligus sebagai dosen wali penulis yang terus memotivasi dari awal perkuliahan sampai penulis menyelesaikan studi S-1.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTI-ITS yang membimbing serta membantu penulis dari awal perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Hawa Afilia, terima kasih atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan.
7. Aji, Dara, Egy, Sheila, Dian, Rendi, grup WACANA yang selalu menemani dari jaman SD dan SMP sampai sekarang.

8. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Rekayasa Sistem Industri, Azis, Chairil, Adrian, Putri, Anna, Bagus, dan semua yang selalu menghiasi hari-hari pengerjaan tugas akhir dengan tawa dan susah bersama-sama.
9. Angkatan M55, Anggota Mesin ITS Autosport, dan Serekat Merah Rakyat Mesin yang berperan penting dari awal perkuliahan hingga di masa depan nanti baik yang berupa pengalaman akademik, non-akademik, maupun pengalaman berharga lainnya.
10. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu disini.

Penulis menyadari bahwa pada tugas akhir ini masih banyak kekurangan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi pebaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

### JUDUL

### LEMBAR PENGESAHAN

**Abstrak..... i**

**Abstract.....iii**

**KATA PENGANTAR ..... v**

**DAFTAR ISI.....vii**

**DAFTAR GAMBAR .....xi**

**DAFTAR TABEL..... xv**

**BAB I PENDAHULUAN ..... 1**

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah ..... 4

1.3 Tujuan Penelitian..... 4

1.4 Batasan Masalah..... 5

1.5 Manfaat Penelitian..... 5

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 7**

2.1 Dasar Teori ..... 7

2.1.1 Proses Produksi Baterai di PT. Indobatt..... 7

2.1.2 Struktur dan Reaksi pada Aki..... 8

2.1.3 Charge dan Discharging Aki..... 14

2.1.4 Jenis-Jenis Aki ..... 17

2.1.5 *Positive Plates Degradation*..... 18

2.1.6 Desain Grid ..... 23

2.1.7 *Electrical vs Thermal Conductivity*..... 29

2.2 Penelitian Terdahulu..... 32

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	37
3.2 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada.....	39
3.3 Studi Literatur .....	39
3.4 Analisis .....	39
3.4.1 Identifikasi Aliran Arus .....	39
3.4.2 Permodelan Grid Plat Positif dan Negatif .....	39
3.4.3 Simulasi Menggunakan <i>Transient Thermal Analysis Software</i> FEA .....	40
3.4.4 Evaluasi Hasil Simulasi .....	41
3.4.5 <i>Redesign</i> Grid Plat Positif dan Negatif.....	42
3.4.6 Simulasi Hasil <i>Redesign</i> .....	42
3.5 Pembahasan .....	42
3.6 Kesimpulan dan Saran .....	42
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1. Permodelan Desain Grid CK 1.4 dan CK 0.9.....	43
4.2. Sifat Material.....	44
4.3. <i>Meshing</i> .....	45
4.4. Analisa Permodelan FEA .....	46
4.5. Evaluasi Grid CK 1.4 .....	48
4.6. Evaluasi Grid CK 0.9 .....	51
4.7. <i>Redesign</i> Grid Positif CK 1.4 dan Grid Negatif CK 0.9 ...	54
<b>BAB V .....</b>	<b>63</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>63</b>
5.1. Kesimpulan .....	63
5.2. Saran .....	64

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>67</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>85</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Jumlah dan Pertumbuhan Penjualan Mobil di Indonesia, 1993-2013 [1] .....	1
<b>Gambar 1. 2</b> Struktur pada Aki [3] .....	2
<b>Gambar 2. 1</b> Struktur Aliran pada Cell Aki [4] .....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Struktur Cell Aki dengan NAM (Massa Aktif Negatif) dan PAM (Massa Aktif Positif) [3] .....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat <i>Discharging</i> Aki [3] .....	12
<b>Gambar 2. 4</b> Diagram <i>Cell</i> Aki dalam Kondisi <i>Charge</i> [3] .....	14
<b>Gambar 2. 5</b> Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding Waktu <i>Discharge</i> [3] .....	15
<b>Gambar 2. 6</b> Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi <i>Charge</i> dengan Arus Konstan [3] .....	15
<b>Gambar 2. 7</b> Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [3] .....	16
<b>Gambar 2. 8</b> Kurva Transient Discharge untuk plat (A) Pb-0.9wt.%Ca grids, (B) Pb-0.9wt.%Ca grids dilapisi antimony [5] .....	19
<b>Gambar 2. 9</b> Perubahan Kapasitas Baterai 6 Volt dengan: (a) timbal murni, (b) timbal dengan 0,7% tin [5] .....	20
<b>Gambar 2. 10</b> Perubahan Kapasitas Plat Positif dari pasta $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ (1) Ketebalan plat 3,5 mm, massa jenis plat $4,3 \text{ g cm}^{-3}$ . (2) Ketebalan plat 2,2, massa jenis plat $4,0 \text{ g cm}^{-3}$ [5] .....	21
<b>Gambar 2. 11</b> Perubahan Potensial dari Plat Positif Saat Discharge, 1st discharge: menunjukkan positive plate degradation, 2nd discharge: positive plate degradation ditekan ke -1.0 V dari fase yang terjadi pada 1st discharge dengan arus C/50 [5] .....	22
<b>Gambar 2. 12</b> Efek dari Charge Terhadap Elektroda Planté [5] .....	22
<b>Gambar 2. 13</b> Properti utama pembentukan paduan timbal yang digunakan untuk casting grid battery [6] .....	25
<b>Gambar 2. 14</b> Desain Grid Baterai Konvensional [6] .....	27

<b>Gambar 2. 15</b> Rectangular Grid (a,b) dengan kawat diagonal yang terhubung dengan <i>lug</i> , dan (c) dengan vertical <i>lug</i> yang melewati sepanjang plat dari atas sampai bawah plat dan mengumpulkan arus melalui kawat horizontal. [6] .....	28
<b>Gambar 2. 16</b> Grid Dengan Perbedaan <i>Local Geometry</i> (a). <i>Active Mass Utilization</i> vs <i>Local Grid Geometry</i> (b). [6] .....	29
<b>Gambar 2. 17</b> Model Desain Grid yang Dibuat Charles J. Schaeffer [10] .....	32
<b>Gambar 2. 18</b> 6 design grid untuk menginvestigasi pengaruh bentuk grid, (a) Conventional Side- <i>lug</i> , (b) Conventional Middle- <i>lug</i> , (c) Diagonal Side- <i>lug</i> , (d) Diagonal Middle- <i>lug</i> , (e) Double-diagonal Side- <i>lug</i> , (f) Double-diagonal Middle- <i>lug</i> .....	34
<b>Gambar 2. 19</b> Distribusi <i>Current Density</i> ( $A \cdot m^{-2}$ ) Model Grid a-f.....	35
 <b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	38
<b>Gambar 3. 2</b> (a) Grid Plat Positif CK 1.4 (b) Grid Plat Negatif CK 0.9 .....	40
<b>Gambar 3. 3</b> Initial Temperatur Pada Simulasi FEA .....	40
<b>Gambar 3. 5</b> Temperatur konstan 50°C diberikan pada <i>lug</i> .....	41
 <b>Gambar 4. 1</b> (a) Grid CK 0.9 sebelum dimodelkan, (b) Grid CK 0.9 dimodelkan secara 3D .....	44
<b>Gambar 4. 2</b> Grid CK 1.4 Yang Sudah di Mesh .....	45
<b>Gambar 4. 3</b> Grid CK 0.9 Yang Sudah di <i>Mesh</i> .....	46
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil Simulasi Grid CK 1.4 .....	47
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil Simulasi Grid CK 0.9 .....	47
<b>Gambar 4. 6</b> Grid CK 1.4 serta penamaan penghantar yang ingin dimodifikasi.....	49
<b>Gambar 4. 7</b> Hasil Simulasi Grid CK 1.4 Dengan Memperbesar Penghantar Y .....	50
<b>Gambar 4. 8</b> Grid CK 0.9 serta penamaan penghantar yang ingin dimodifikasi.....	51
<b>Gambar 4. 9</b> Hasil Simulasi Grid CK 0.9 Dengan Memperbesar Penghantar G .....	53



<b>Gambar 4. 11</b> Grid CK 1.4 dengan pembesaran penghantar Y, F dan menambahkan dua penghantar melintang .....	57
<b>Gambar 4. 12</b> Grid CK 1.4 dengan peletakkan <i>lug</i> ditengan dan memperbesar penghantar D dan X .....	58
<b>Gambar 4. 13</b> Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G, Y, dan F .....	60
<b>Gambar 4. 14</b> Grid CK 0.9 dengan meletakkan <i>lug</i> ditengan dan memperbesar penghantar E, F dan X .....	61

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Mechanical Properties yang Dibutuhkan Untuk Grid Lead-Acid Battery [6] .....	24
<b>Tabel 2. 2</b> Logam paduan yang digunakan untuk pembuatan grid baterai [6] .....	26
<b>Tabel 2. 3</b> Nilai Konstanta Lorenz Yang Didapatkan Pada Eksperimen [7] .....	31
<b>Tabel 2. 4</b> Nilai Konduktivitas Elektrik Pada Logam [8] .....	31
<b>Tabel 2. 5</b> Nilai Konduktivitas Panas Pada Logam [9] .....	31
<b>Tabel 4. 1</b> Property Material Lead [8] .....	44
<b>Tabel 4. 2</b> Isotropic Thermal Conductivity Lead [8] .....	45
<b>Tabel 4. 3</b> Keterangan Penamaan Desain Pada Evaluasi Grid CK 1.4 .....	49
<b>Tabel 4. 4</b> Hubungan Antara Penghantar Pada Grid CK 1.4 Dengan Distribusi Temperatur .....	49
<b>Tabel 4. 5</b> Keterangan Penamaan Desain Pada Evaluasi Grid CK 0.9 .....	52
<b>Tabel 4. 6</b> Hubungan Antara Penghantar Pada Grid CK 0.9 Dengan Distribusi Temperatur .....	52
<b>Tabel 4. 7</b> Keterangan Penamaan <i>Redesign</i> Pada Evaluasi Grid CK 1.4 .....	56
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Redesign Grid CK 1.4 Terhadap Distribusi Temperatur .....	57
<b>Tabel 4. 9</b> Keterangan Penamaan Redesign Pada Evaluasi Grid CK 0.9 .....	59
<b>Tabel 4. 10</b> Hasil Redesign Grid CK 0.9 Terhadap Distribusi Temperatur .....	59

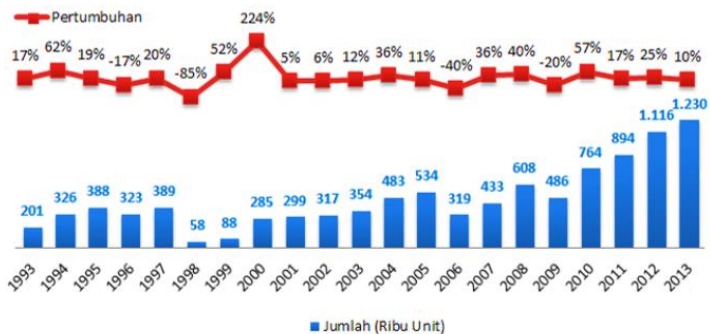
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

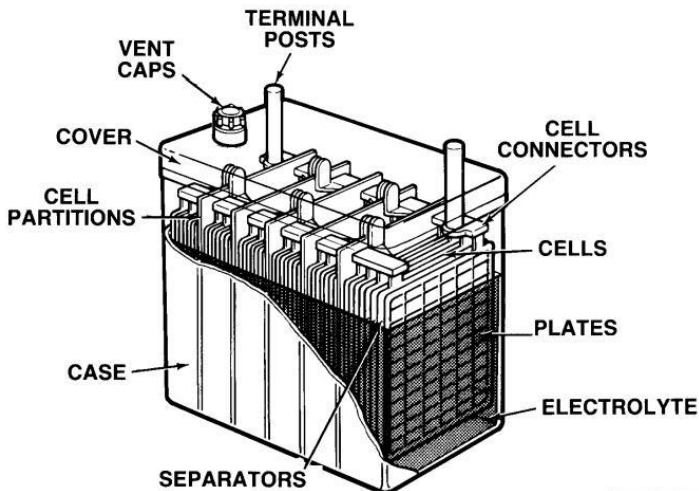
Kebutuhan transportasi saat ini di Indonesia terus meningkat, hal ini mendorong pengembangan di teknologi otomotif untuk terus meningkat pula. Setiap pabrik otomotif berlomba-lomba untuk menciptakan teknologi terbaik dan tentunya dengan harga yang bersaing pula. Mulai dari desain interior eksterior, sistem pengapian, sistem kelistrikan, konstruksi mesin dan sebagainya terus mengalami perkembangan untuk mendapatkan satu tujuan yaitu perubahan untuk lebih baik. Sebagai contohnya pengembangan di konstruksi mesin yang membuat konsumsi bahan bakar ditekan menjadi lebih hemat, lalu teknologi mobil hybrid dilakukan demi mengurangi konsumsi bahan bakar minyak dan menggunakan energi listrik.



**Gambar 1. 1** Jumlah dan Pertumbuhan Penjualan Mobil di Indonesia, 1993-2013 [1]

Pertumbuhan penjualan mobil di Indonesia terus meningkat seperti dilihat pada gambar 1.1 yang membuktikan konsumsi kendaraan di Indonesia begitu tinggi dan menjadi sasaran pasar produksi teknologi otomotif untuk melakukan perkembangan.

Aki (*lead acid battery*) yang merupakan salah satu sumber energi yang banyak digunakan pada teknologi otomotif juga dituntut untuk mengalami pengembangan baik dari segi ketahanan dan *life cycle*. Tidak dapat dipungkiri bahwa semakin pesat kebutuhan transportasi berbanding lurus dengan kebutuhan produksi aki, karena aki yang merupakan baterai penyimpan energi listrik dalam bentuk reaksi kimia merupakan solusi penyimpanan energi listrik yang dapat disimpan dalam volume yang kecil dengan hasil output yang besar.



**Gambar 1. 2** Struktur pada Aki [3]

Untuk membuat aki ada beberapa komponen inti yang terdapat didalamnya seperti pada gambar 1.2, yaitu *case*, *plates*, *plate straps*, *separators*, *cells*, *cell partitions*, *cell connectors*, *electrolyte*, *cover*, dan *terminal post*. *Case* yang dibuat dari material *polypropolyene* digunakan sebagai tempat dari komponen aki yang dirancang untuk tahan terhadap beban *impact* dan cuaca ekstrim sehingga dapat menjaga komponen aki agar tetap beroperasi dengan baik. Plat merupakan grid yang

dibuat dari *lead* dan sudah diberi pasta berfungsi untuk bereaksi dengan cairan elektrolit  $\text{HSO}_4^-$  sehingga dapat menyimpan dan menghasilkan listrik. Plat terdiri dari plat positif dan plat negatif. Dalam aki terdapat beberapa *cells* yang masing-masing dipisahkan dengan *cell partitions* dan disambungkan dengan *cell connectors*. Dimana tiap *cells* terdiri dari beberapa plat positif dan beberapa plat negatif yang dipisahkan oleh *separators* sehingga menghindari *short circuit* pada baterai. Setelah itu *cover* digunakan untuk menutup *case* dan *terminal post* untuk mengalirkan energi listrik dari aki ke mesin yang dibutuhkan.

PT. Indobatt sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi aki di Indonesia, memiliki tujuan untuk terus meningkatkan produksi dan kualitas aki yang dihasilkan untuk memenuhi kepuasan konsumen. Ada berbagai performa pada baterai yang masih dapat ditingkatkan dan terus dikembangkan oleh setiap pabrikan aki seperti memperpanjang masa pakai, *power output*, *durability*, *energy density*, *specific capacity*, memperbaiki *self discharge*, dan lain-lain.

Masa pakai pada aki dapat berkurang dikarenakan *undercharge* dan *overcharge*. Dimana apabila terjadi *undercharge* maka akan terjadi sulfasi yaitu dimana pembentukan asam timbal tidak dapat diurai kembali sehingga kapasitas charging yang awalnya mencapai 100% menjadi berkurang sesuai dengan asam timbal yang tidak dapat diuraikan tersebut. Lalu kondisi *overcharge* yang akan menyebabkan korosi pada grid sehingga masa aktif terdegradasi yang dampaknya daya hantar listrik pada elektroda berkurang dikarenakan plat yang massa aktifnya sudah terdegradasi tidak mampu membentuk reaksi elektrokimia.

Grid sebagai komponen utama pada aki memiliki fungsi sebagai penghantar elektron menuju tiap *cell* pada aki. Dengan demikian, grid yang tidak didesain dengan baik akan mengakibatkan distribusi elektron yang tidak merata dan terjadi

ketidakmerataan tegangan pada grid sehingga korosi dan sulfasi pada grid akan cepat terjadi pada beberapa titik di grid. Dengan demikian fungsi dari grid akan hilang dan masa pakai aki akan berkurang. Pada penelitian ini akan difokuskan untuk mengetahui pengaruh desain yang berbeda dari *grid positive* dan *negative* yang ada pada produksi PT. Indobatt sehingga dapat meningkatkan performa aki khususnya pada masa pakai aki dengan cara memberikan distribusi elektron yang merata pada tiap bagian grid. Pengujian ini diperlukan agar desain dari grid dapat memberikan distribusi elektron yang merata pada bagian-bagian di grid aki. Penelitian ini dilakukan karena unsur utama grid pada aki yaitu timbal (Pb) memiliki konduktivitas elektrik yang rendah sehingga desain dari grid akan memiliki pengaruh yang tinggi terhadap distribusi elektron. Setelah itu melakukan *redesign grid positive* dan *negative* untuk mendapatkan distribusi elektron terbaik dari desain grid yang sudah ada pada PT. Indobatt.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana pengaruh desain grid terhadap distribusi elektron pada plat aki agar meningkatkan masa pakai dari aki?
- Bagaimana desain grid yang tepat sehingga didapatkan distribusi elektron yang seragam?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

- Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi elektron pada plat aki sehingga dapat meningkatkan masa pakai aki.



- Memberikan solusi yang efektif agar desain grid bisa mendapatkan distribusi elektron yang seragam pada plat aki.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

- Grid yang diidentifikasi adalah grid model CK 1.4 dan CK 0.9.
- Pendekatan identifikasi distribusi elektron pada grid dengan menggunakan simulasi perpindahan panas.
- Identifikasi menggunakan *Software* FEA sistem analisa *Transient Thermal*.
- Konveksi pada simulasi diabaikan dan menggunakan siklus waktu 600s

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dapat mengetahui faktor-faktor untuk meningkatkan performa aki.
- Dapat memberikan solusi kepada PT. Indobat dalam produksi aki sehingga meningkatkan performa aki.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada proses produksi aki PT Indobatt.

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1 Proses Produksi Baterai di PT. Indobatt**

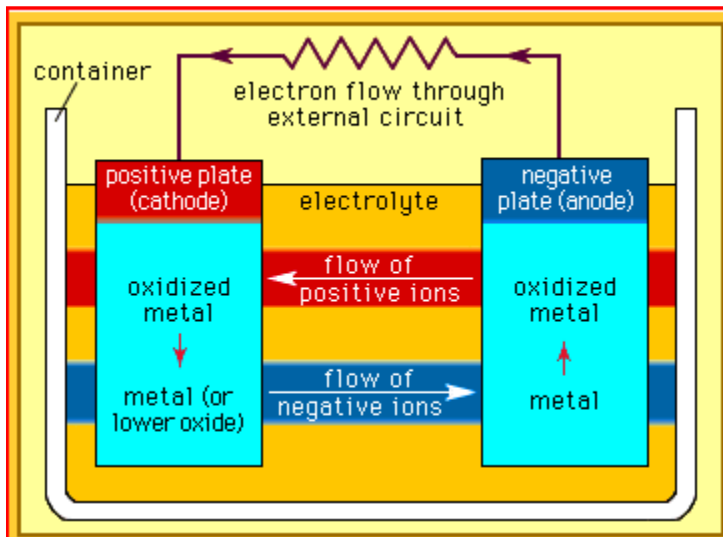
Sebagai perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi aki, PT. Indobat dituntut untuk dapat memenuhi kepuasan konsumen dengan meningkatkan kualitas produksinya. Pada produksinya, PT. Indobatt memisahkan dalam beberapa tahapan yaitu *casting*, *pasting*, *curing*, *formation*, *cutting* dan *assembly*. *Casting* merupakan tempat pembuatan plat. Proses *casting* pada produksi plat meliputi pemindahan material Pb ke area *casting*, lalu memasukan material Pb ke tungku cair dan setelah itu akan diproses oleh mesin *casting* secara otomatis. Plat yang sudah jadi akan disatukan dengan pasta yang sudah mengalami *mixing* dari beberapa komponen, proses ini dinamakan proses *pasting*. Plat berpasta yang sudah jadi akan memasuki mesin oven untuk dikeringkan. Setelah itu, plat akan disortir apabila terdapat plat yang rusak. Plat yang tidak rusak akan dikirim ke area proses *formation*. *Formation* merupakan proses dimana plat dialiri oleh arus listrik sebagai proses *charging*. Proses *charging* dilakukan pada *formation tank* dengan alat penghasil listrik *rectifier*. Setelah melalui proses *formation*, plat akan dicuci dengan direndam secara terpisah antara plat positif dengan plat negatif. Plat direndam air murni sampai parameter yang berbeda antar positif dan negatif. Parameter yang dipakai adalah pH air itu sendiri, 7 untuk plat positif dan 4,5 untuk plat negatif. Selanjutnya plat akan diproses pada area *Inner Gas*. Pada area ini plat akan dikeringkan dengan mesin oven yang berbeda antara plat positif dan plat negatif. Untuk

plat positif menggunakan mesin inner gas oven, sedangkan plat negatif menggunakan mesin perfect oven. Proses selanjutnya adalah proses *cutting* dan *brushing*, *cutting* adalah proses pemotongan plat menjadi bagian yang lebih kecil, sedangkan *brushing* merupakan proses pembersihan plat agar plat menjadi lebih halus. Setelah pembuatan plat selesai, proses selanjutnya adalah *enveloping* dan *grouping*. Proses *enveloping* merupakan proses merangkai plat dengan separator, sedangkan *grouping* merupakan perangkaian plat di *box* bersama *connector*, terminal, *pole*, dan *cover*. Plat positif dimasukan kedalam *separator* yang menyerupai amplop. Setelah itu plat yang sudah dipisah oleh separator dirangkai dengan *box* di dalam aki. Rangkaian yang sudah fix kemudian di *welding* menggunakan timah. Selanjutnya *cover* ditutup untuk *finishing* setelah semua dilakukan pengecekan. Proses terakhir adalah *assembling*, dimana semua komponen dirakit dan dilakukan pengecekan kelayakan produk untuk dijual atau mengalami *reject*.

### 2.1.2 Struktur dan Reaksi pada Aki

Akumulator (aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Penemuan aki dimulai ketika Luigi Galvani (1737-1798) dan Alessandro di Volta (1745-1827) aktif melakukan temuan-temuan penting yaitu fenomena elektrokimia kelistrikan dan sampai saat ini nama “Volt” dan “Galvanic cell” masih digunakan dalam istilah kelistrikan di dunia. Teknologi elektrokimia kelistrikan terus berkembang hingga tahun 1859 Raymon Gaston Planté ahli fisika Prancis menemukan lead-acid battery yang dapat di charge berulang-ulang (*recharge*), dan Planté mulai merancang sebuah baterai yang dapat menyimpan tenaga listrik yang dapat digunakan. Pada tahun 1880 Emile Alphonse Faure mengembangkan proses pelapisan plat timah dengan pasta yang dari serbuk timah dan asam sulfat, ini merupakan terobosan besar yang menuntun langsung ke industri pembuatan lead-acid battery. Pada tahun 1881, J.S Sellon, mengajukan paten dimana pasta dilapiskan pada plat yang berlubang, bukan pada plat tanpa lubang,

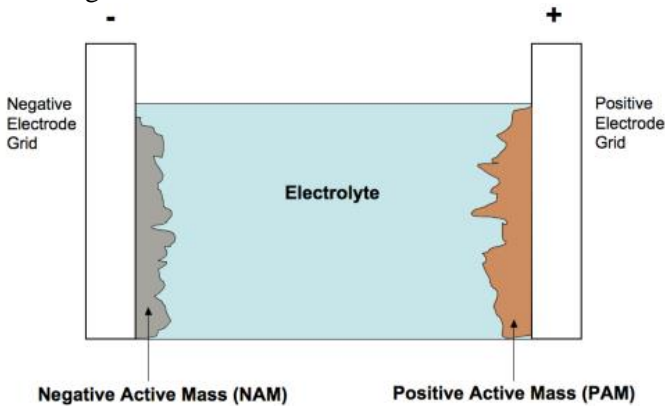
yang dengan begitu pasta melekat lebih baik pada plat timah dibanding dengan temuan Faure, tapi Sellon masih menggunakan plat antimoni. Lead-acid battery berubah hanya sedikit saja sejak 1880, pada material kemasan dan sistem produksi, yang lebih meningkatkan daya simpan listriknya, memperpanjang umurnya dan lebih bisa diandalkan, tetapi prinsip kerja baterai sampai sekarang masih tetap sama dengan ketika pertama kali ditemukan.



**Gambar 2. 1** Struktur Aliran pada Cell Aki [4]

Pada umumnya baterai memiliki dua *cells* atau lebih yang disambungkan secara seri maupun parallel. Setiap *cell* terdiri dari anoda (elektroda negatif) dan katoda (elektroda positif) dan pasta atau *ionic conductor* sebagai elektrolit seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Elektrolit pada aki adalah cairan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), dan dua elektroda pada aki adalah timbal dioksida ( $\text{PbO}_2$ ) dan Timbal ( $\text{Pb}$ ).  $\text{PbO}_2$  sebagai elektroda positif dan  $\text{Pb}$  sebagai elektroda negatif. Saat elektroda diberi muatan, terjadi reaksi kimia dan terjadi perpindahan elektron dari satu elektroda ke lainnya, dan dengan demikian tercipta arus listrik.

Diantara elektroda positif dan negatif terdapat *separator* berupa isolator yang memiliki fungsi untuk mencegah terjadinya *short circuit* (korsleting) dan memberikan jalur yang baik untuk pertukaran ion pada elektroda. Pada saat aki digunakan untuk *charge* dan *discharge*, reaksi pada elektroda dan elektrolit menghasilkan gas, untuk mencegah terjadinya tekanan tinggi didalam aki, terdapat lubang kecil yang berfungsi sebagai ventilasi keluar dari gas hasil reaksi.



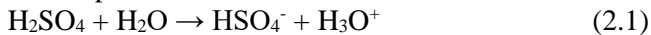
**Gambar 2. 2** Struktur Cell Aki dengan NAM (Massa Aktif Negatif) dan PAM (Massa Aktif Positif) [3]

*Cell* aki menyimpan energi eletrokimia pada massa aktif yang di lekatkan kepada plat elektroda positif dan negatif. Massa aktif dan massa negatif memiliki komposisi kimia yang berbeda. Struktur *cell* yang sudah dilekatkan massa aktif positif dan negatif yang biasa digunakan dapat dilihat pada gambar 2.2.

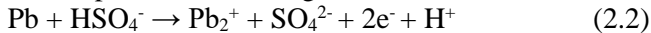
Ketika sirkuit eksternal disambungkan ke kedua elektroda, elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu ke massa aktif yang lain, akibatnya komposisi kimianya pun akan berubah. Pada saat yang sama, elektrolit juga berpartisipasi dalam reaksi ini, dengan pergerakan ion antar massa aktif. Reaksi elektrokimia ini membuat aki dapat menghasilkan energi listrik untuk beban yang sudah disambungkan selama *discharge*, atau menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat *charge*.

Reaksi kimia yang terjadi saat *discharge* adalah sebagai berikut :

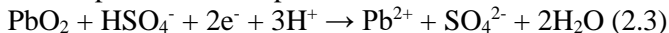
Reaksi pada elektrolit :



Reaksi pada elektroda negatif :



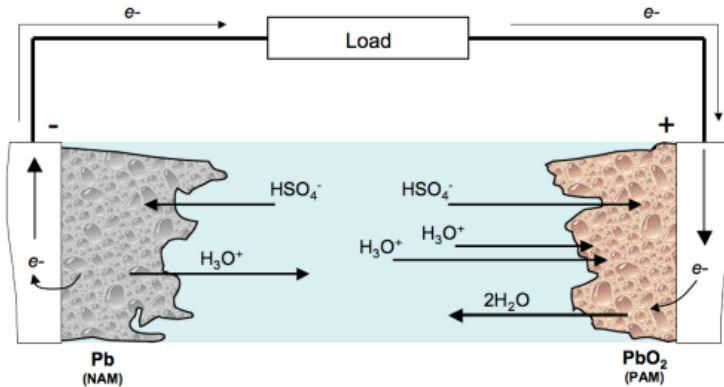
Reaksi pada elektroda positif :



Reaksi keseluruhan :



Reaksi pada persamaan 2.1 menunjukkan reaksi yang terjadi pada elektrolit cairan asam sulfat dan air selama aki dipakai. Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) memecah ion hydrogen ( $\text{H}^+$ ) pada elektrolit, yang kemudian berubah menjadi hidronium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Hidronium ini akan berfungsi sebagai pembawa ion  $\text{H}^+$ , dimana terbentuk pada reaksi saat *charge* maupun *discharge* aki. Reaksi ini juga terjadi di elektroda negatif (persamaan 2.2). Timbal murni (Pb) bereaksi dengan ion asam sulfat yang kemudian membentuk timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ). Massa aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu sampai di elektroda positif dimana elektron ini akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan 2.3, massa aktif positif bereaksi dengan asam sulfat membentuk  $\text{PbSO}_4$ , dan ion hidrogen yang berasal dari  $\text{H}_3\text{O}^+$  bereaksi dengan elektron yang kemudian membentuk air. Seluruh proses ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, dimana reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ). Secara keseluruhan, reaksi *discharge* aki membentuk  $\text{PbSO}_4$  yang memiliki sifat tidak dapat menghantarkan listrik.  $\text{PbSO}_4$  ini terbentuk pada kedua elektroda, membuat cairan elektrolit lebih encer daripada sebelumnya (terutama disekitar elektroda positif).



**Gambar 2. 3** Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat *Discharging* Aki [3]

Reaksi dan pereaksi harus ada pada masing-masing permukaan massa aktif agar arus listrik dapat mengalir, hal ini sangat penting untuk diperhatikan dalam memahami sistem kerja dari aki. Dimana, kehadiran dari struktur morfologi dan kelekatan masa aktif kepada plat elektroda juga memiliki peran yang besar dalam perilaku elektrik aki. Massa aktif tidak hanya lapisan tipis yang melapisi plat elektroda, namun memiliki struktur yang lebih kompleks. Struktur berpori dan ketebalan yang dirancang oleh perusahaan manufaktur sesuai dengan komposisi yang tepat untuk produksi aki. Menambah ketebalan pada massa aktif ini akan menambah kapasitas dan *life cycle* dari aki itu sendiri.

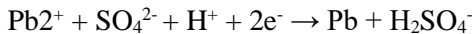
Struktur dari massa aktif ini akan sangat mempengaruhi tingkat kapasitas dan daya tahan dari aki. Penambahan beberapa zat pada pasta timbal murni dan pasta timbal dioxida dapat meningkatkan daya hantar listrik dari massa aktif, serta meningkatkan efisiensi *charge* dan *discharge* aki. Misalnya, semakin tinggi temperatur menyebabkan meningkatnya pergerakan dan perpindahan ion, dimana akan menimbulkan bertambah luasnya area permukaan yang bereaksi dan menyebabkan menurunnya daya tahan dari aki itu sendiri. Tingkat arus listrik dari *discharge* aki pun mempengaruhi perilaku massa



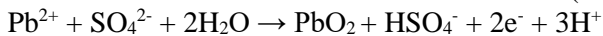
aktif. Tingginya arus *discharge* dapat menurunkan laju difusi dari  $\text{HSO}_4^-$ . Hal ini menyebabkan meningkatnya reaksi yang terjadi pada permukaan, dimana massa aktif kontak secara langsung dengan sejumlah besar elektrolit.

Tidak seperti pada kondisi *discharge*, pada kondisi *charge* aki terdapat reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan dari sumber, sementara tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni, hal ini mengurangi efisiensi dari *charge* aki. Reaksi kimia pada saat *charge* aki dapat dilihat pada persamaan dibawah ini. [3]

Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :



Reaksi keseluruhan :



Evolusi oksigen pada elektroda positif :



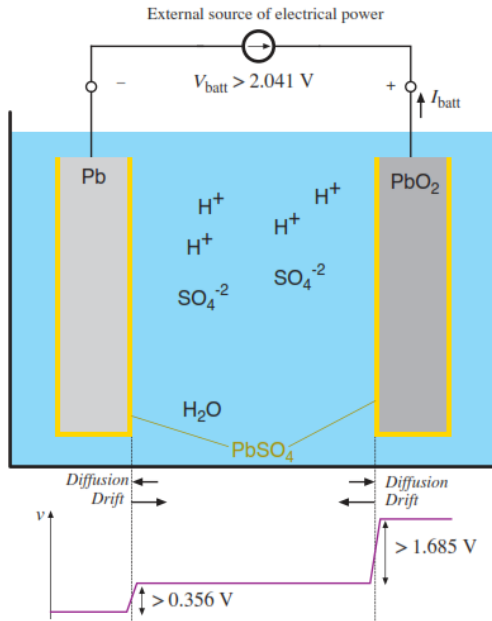
Kombinasi oksigen pada elektroda negatif :



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif :



Reaksi *charge* ini terjadi pada masa aktif positif dan negatif. Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan kebalikan dari persamaan reaksi yang terjadi pada saat *discharge* aki (persamaan 2.3 dan 2.2). Dimulai dari penguraian timbal sulfat menjadi ion-ion timbal dan sulfat. Pada masa aktif positif, ion ini bereaksi dengan molekul dari air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Pada saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju massa aktif negatif timbal sulfat, melalui eksternal sirkuit.

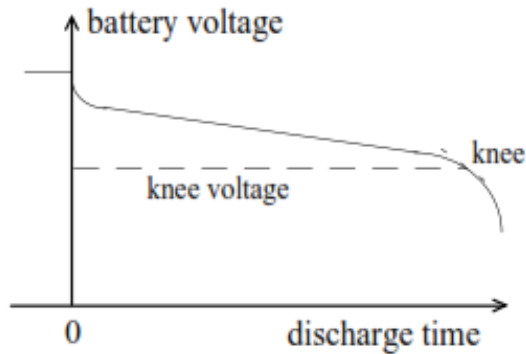


**Gambar 2. 4** Diagram Cell Aki dalam Kondisi Charge [3]

Kombinasi oksigen pada elektroda negatif yang membuat aki jenis VRLA menjadi “*maintenance free*” tidak seperti *flooded* aki dimana ventilasi membuang gas oksigen dan hidrogen saat *charge*, dan membuat aki jenis ini memerlukan penambahan air secara periodik.

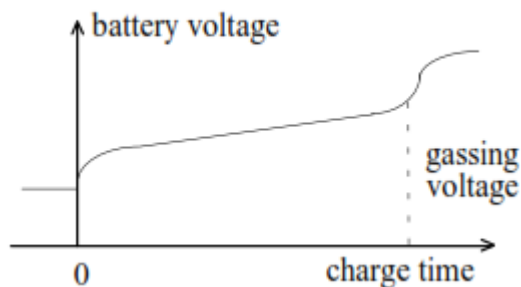
### 2.1.3 Charge dan Discharging Aki

Dari persamaan reaksi aki yang sudah dibahas sebelumnya, diketahui ketika aki dalam kondisi dipakai kadar asam sulfat didalam aki akan semakin berkurang, beda potensial pada terminalnya pun akan ikut berkurang. Disisi lain, beda potensial pada terminal akan semakin meningkat pada saat kondisi *charge*. Pada gambar 2.5 dapat dilihat profil aki pada saat *discharge* oleh beban dengan arus yang konstan.



**Gambar 2. 5** Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding Waktu *Discharge* [3]

Seperti yang diilustrasikan pada kurva, lompatan awal pada beda potensial menunjukkan adanya impedansi baterai. Lalu, beda potensial akan berkurang secara tetap selama periode *discharge*. Ini menunjukkan penurunan beda potensial pada aki dipengaruhi juga besarnya beban *discharge*. Di akhir masa *discharge*, beda potensial aki akan turun secara drastis, hal ini dikarenakan konsentrasi dari asam sulfat pada elektrolit sudah sangat rendah.

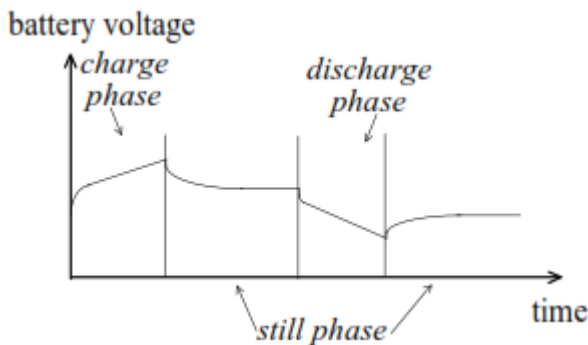


**Gambar 2. 6** Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi *Charge* dengan Arus Konstan [3]

Ketika dalam kondisi *charge* impedansi yang sama mempengaruhi lompatan beda potensial di awal sambungan

sumber listrik. Sama halnya pada saat kondisi *discharge*, besar arus yang masuk mempengaruhi besar kurva beda potensial. Gambar 2.6 menunjukkan kurva beda potensial dalam kondisi arus konstan pada saat *charge* aki. Dari kurva beda potensial berbanding waktu *charge* ini dapat dilihat adanya hubungan antara beda potensial aki dengan besarnya energi yang dapat disimpan olehnya. Kenaikan beda potensial pada akhir waktu *charge* menunjukkan adanya *gassing*, ini adalah kondisi dimana aki akan melepaskan sejumlah gas sebagai hasil dari elektrolisis air. Aki yang diisi melewati masa ini akan merusak aki itu sendiri.

Ion pada elektrolit bergerak karena adanya difusi, perbedaan konsentrasi antara zat pelarut dengan zat terlarut. Karena difusi ini terjadi dengan lambat maka lompatan beda potensial pada kondisi *discharge* atau *charge* tidak bisa menghilang, kecuali didiamkan dalam jangka waktu tertentu. Gambar 2.7 menunjukkan pemulihan aki setelah terjadi beda potensial berlebih baik dalam kondisi *discharge* maupun *charge*. [3]



**Gambar 2. 7** Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [3]

Performa *rechargeable battery* sangat dipengaruhi oleh keseragaman perpindahan ion dari satu elektroda ke elektroda yang lain. Hal ini terjadi dikarenakan reaksi kimia yang terjadi pada elektroda tidak instan dan terbatas oleh konsentrasi ion pada

masing-masing permukaan elektroda. Selain itu, konsentrasi ion pada masing-masing permukaan elektroda tergantung pada kemampuan ion berpindah melalui elektrolit. Pembentukan *dendrites*, “hasil pembetulan material oleh elektroda”, terjadi ketika konsentrasi ion menyebrang permukaan yang tidak rata ke reaksi kimia yang tidak beraturan. *Dendrites* dapat melepaskan diri dari satu elektroda ke elektroda lainnya melalui *separator* dan mengakibatkan korsleting. Struktur logam pada elektroda juga dapat secara drastis menghalangi performa *rechargeable battery*. Semakin halus struktur *grain*, semakin rendah tahanan internal dan semakin besar luas permukaan. Meskipun begitu, dengan rendahnya luasan arus yang terjadi, reaksi kimia akan melambat dan mengakibatkan terbentuknya kristalisasi logam. Kristal ini akan mengurangi luasan permukaan elektroda dan maka dari itu performa dari baterai akan menurun dengan turunnya kapasitas dan meningkatnya hambatan internal yang akan mengakibatkan voltase baterai menjadi rendah saat arus *discharge* tetap. Selanjutnya, saat hambatan internal baterai meningkat, efisiensi *charging* baterai akan menurun. [4]

#### 2.1.4 Jenis-Jenis Aki

Seiring dengan perkembangan jaman, produksi aki terus meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan otomotif, transportasi dan industri telekomunikasi yang membutuhkan energi cadangan.

Berdasarkan kegunaannya, aki dibedakan menjadi:

- SLI (*Starting, lightning, ignition*) *batteries* untuk otomotif
- *Stationary batteries* umumnya digunakan untuk sumber daya listrik, seperti membangkitkan listrik untuk kegunaan sistem telekomunikasi, sistem computer, dll.
- *Motive power (traction) batteries* adalah baterai industri yang digunakan untuk membangkitkan listrik

di alat-alat transportasi seperti *fork-lift trucks*, *electric car*, peralatan tambang, dll.

- *Special purpose batteries* dimaksudkan untuk digunakan pada pesawat udara, kapal selam, dan peralatan militer khusus.
- Perkembangan aki lain saat ini adalah baterai *hybrid* atau *full electric car*.

Berdasarkan perawatannya, aki dibedakan menjadi:

- *Flooded batteries*, baterai yang memerlukan perawatan berkala. Aki ini dikenal dengan aki basah, maksudnya sel-sel didalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang, harus ditambah cairan elektrolit. Ciri-cirinya setiap sel ada katup untuk keluarnya gas hasil reaksi kimia.
- *Valve-regulated lead-acid (VRLA)*, aki ini disebut juga aki *maintenance free*. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka saat tekanan tinggi untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Aki ini tidak memiliki katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya sehingga dikenal dengan aki *maintenance free*. Aki jenis VRLA dibagi menjadi dua berdasarkan konstruksi internalnya. Yang pertama adalah jenis *Gel Cells* dimana cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga cairan menjadi kental seperti agar-agar. Yang kedua adalah *Absorbent Glass Mat (AGM)* yang memiliki *separator* dari *fiberglass* yang diletakan diantara plat-plat selnya yang bertujuan untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*

### 2.1.5 Positive Plates Degradation

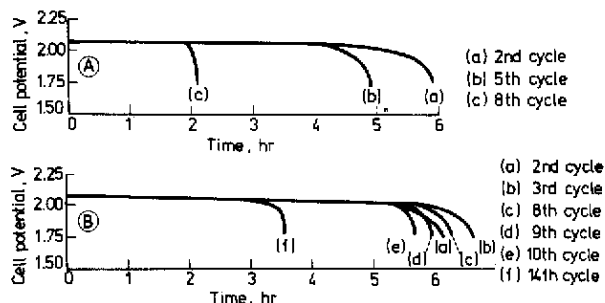
*Positive plates degradation* (Degradasi plat positif) terjadi ketika partikel  $\text{PbO}_2$  mulai kehilangan daya tarik antar partikel atau pada *grid* nya. Hal tersebut menyebabkan terlepasnya partikel

$\text{PbO}_2$  yang membuat partikel tersebut tidak bereaksi pada kondisi *discharge* atau *charge* aki. Efek dari degradasi plat positif ini adalah berkurangnya daya hantar listrik pada  $\text{PbO}_2$ , hal ini terjadi karena berkurangnya kapasitas aki di daerah terjadinya degradasi plat positif dikarenakan plat yang sudah terdegradasi tidak mampu membentuk reaksi elektrokimia.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan terhadap beberapa tipe baterai, terdapat beberapa parameter yang diidentifikasi mempengaruhi *positive plate degradation* yaitu: [5]

a. Penambahan logam paduan pada paduan grid

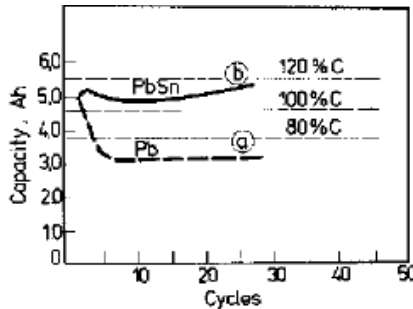
- *Antimony*, elemen ini memiliki pengaruh paling kuat terhadap *positif plate degradation*. Tidak dapat dipungkiri bahwa ketika *antimony* di dalam *grid* dikurangi dari 6% menjadi 1% Sb terjadi penurunan *life time*. Ketika diturunkan lagi dibawah 1% Sb akan terjadi penurunan secara mendadak ketika di observasi.



**Gambar 2. 8** Kurva Transient Discharge untuk plat (A) Pb-0.9wt.%Ca grids, (B) Pb-0.9wt.%Ca grids dilapisi antimony [5]

- *Calcium*, pada gambar 2.8 (A) menunjukkan kurva *discharge* untuk baterai dengan paduan Pb-Ca *grids*. Umur dari baterai sangat rendah. Ini disebabkan kurangnya *antimony* dibandingkan *calcium* yang terdapat pada grid, berbeda dengan

hasil yang ditunjukkan pada gambar 2.8 (B) dimana Pb-Ca dilapisi *antimony*.



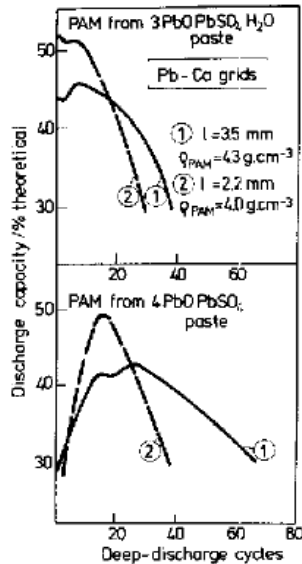
**Gambar 2. 9** Perubahan Kapasitas Baterai 6 Volt dengan:(a) timbal murni, (b) timbal dengan 0,7% tin [5]

- *Tin*, salah satu elemen yang memiliki pengaruh terhadap *positive plate degradation*. Dari gambar 2.9 menunjukkan perubahan kapasitas baterai dengan *grid* timbal murni dengan *grid* yang terdapat kandungan 0,7% tin. *Grid* yang terkandung tin di dalamnya memiliki kapasitas plat yang lebih besar jika dibandingkan plat yang *grid*nya timbal murni. Dengan menambahkan 1% tin sudah cukup mengurangi efek dari *positive plate degradation*

#### b. Massa Jenis Aktif

*Life cycle* dari baterai dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan massa jenis aktif dan juga ketebalan plat. Gambar 2.10 menunjukkan perubahan kapasitas baterai dengan plat yang memiliki campuran paduan *grid* timbal-kalsium yang diproduksi dari pasta  $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dan  $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ . Plat yang lebih tebal dan massa jenisnya lebih tinggi memiliki *life time* yang lebih tinggi tetapi memiliki kapasitas yang lebih kecil.

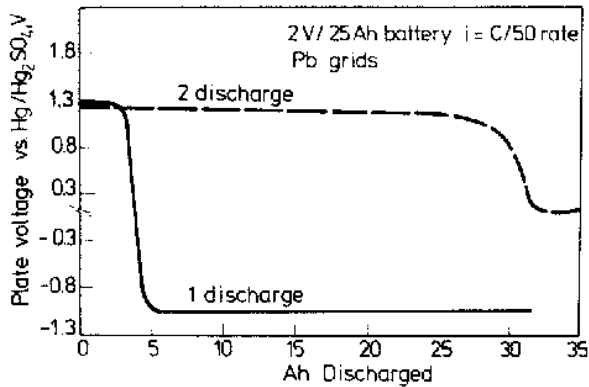




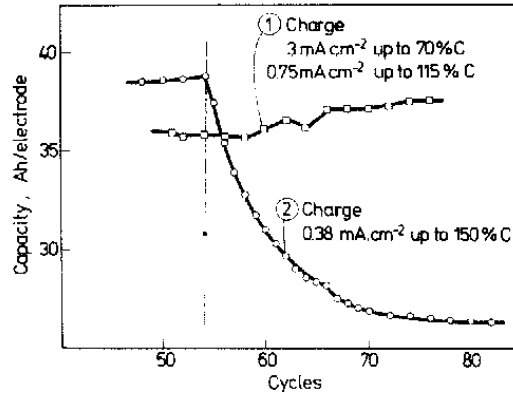
**Gambar 2. 10** Perubahan Kapasitas Plat Positif dari pasta  $3\text{PbO}\cdot\text{PbSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$  dan  $4\text{PbO}\cdot\text{PbSO}_4$  (1) Ketebalan plat 3,5 mm, massa jenis plat  $4,3\text{ g cm}^{-3}$ . (2) Ketebalan plat 2,2, massa jenis plat  $4,0\text{ g cm}^{-3}$  [5]

c. Jumlah dan konsentrasi dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$

*Life time* dari plat positif baterai Pb-Ca-Sn yang terpengaruh fenomena *positive plate degradation* dapat dikurangi ketika konsentrasi dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditingkatkan. Sebaliknya pengurangan jumlah dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada *cell* menyebabkan *life time* dari baterai menjadi lebih panjang.



**Gambar 2. 11** Perubahan Potensial dari Plat Positif Saat Discharge, 1st discharge: menunjukkan positive plate degradation, 2nd discharge: positive plate degradation ditekan ke  $-1.0$  V dari fase yang terjadi pada 1st discharge dengan arus  $C/50$  [5]



**Gambar 2. 12** Efek dari Charge Terhadap Elektroda Planté [5]

d. *Charge dan discharge*

Perlakuan *charge* dan *discharge* seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.11 bahwa pada *discharge* yang

pertama kapasitas yang dihasilkan rendah dikarenakan permulaan terjadinya *positive plates degradation phenomena*. Pada *discharge* kedua yang diikuti *deep discharge*, plat memperlihatkan kapasitasnya terisi penuh sebagai hasil dari potensi yang sangat rendah pada *discharge* pertama.

U. Hullmeine menemukan bahwa elektroda Planté menjaga kapasitas yang tinggi dan stabil saat di *charge* pertama hingga 70% pada C/1 ke C/2 dan kemudian di *charge* dengan arus rendah hingga *overcharge* 15-20%. Sebaliknya, jika di *charge* pada C/10 sampai *overcharge* 50%, plat akan dengan cepat kehilangan kapasitas pada siklus tersebut seperti diperlihatkan pada gambar 2.12.

### 2.1.6 Desain Grid

Logam timbal (*lead*) digunakan untuk *casting grids*, *straps*, *terminal posts* dan konektor untuk *lead-acid batteries*. Plat grid memiliki dua fungsi utama yaitu:

- Sebagai “*backbone*” yang menopang secara mekanis material aktif pada dua elektroda.
- Berperan sebagai “*blood system*” sepanjang aliran arus elektron dari dan ke semua part pada plat.

Dilihat dari dua fungsi diatas, grid tidak ikut berperan dalam reaksi elektrokimia pada *cell*.

Pada umumnya, berat grid mencapai 40-50% dari total berat plat. Banyak uji coba untuk mengganti timbal dengan logam yang lebih ringan untuk pembuatan grid, namun semua gagal dikarenakan (i) plat positif beroperasi pada potensial yang sangat tinggi yang membutuhkan material yang tidak mudah teroksidasi; (ii) elektrolit pada *cell* sangat korosif, yang mengarah ke pembentukan lapisan grid yang cepat sehingga berdampak pada hambatan ohm yang tinggi; dan (iii) potensi penguraian pada material yang rendah, sehingga tidak dapat bereaksi seperti reaksi pada *lead-acid*. Dari sudut pandang isu diatas, produsen baterai memberikan persyaratan yang ketat untuk properti *physico-*

*chemical* dari logam timbal untuk digunakan sebagai grid pada plat. Beberapa persyaratannya seperti dibawah ini: [6]

- a. *Mechanical properties*. Grid harus memiliki kekuatan dan *hardness* yang cukup untuk menopang tegangan mekanis dan panas selama proses *pasting* dan selama baterai masih dalam masa pakai, bentuk grid harus bertahan. Untuk dapat menahan beban tersebut, material grid pada plat harus memiliki property seperti pada tabel 2.1.

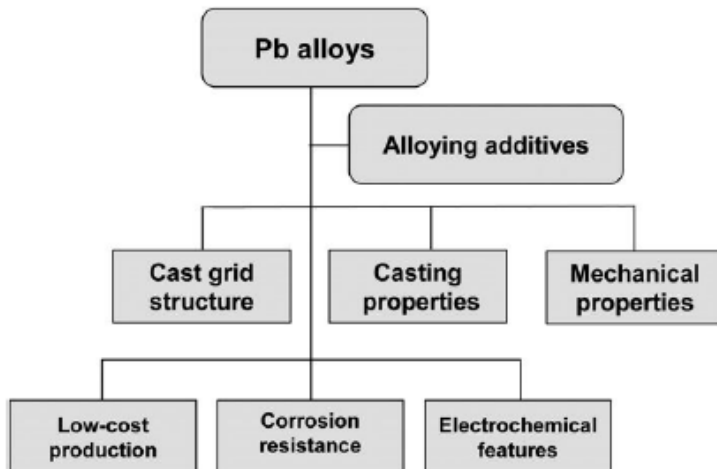
**Tabel 2. 1** Mechanical Properties yang Dibutuhkan Untuk Grid Lead-Acid Battery [6]

Grid Type	Brinel Hardness (kg mm <sup>-2</sup> )	Tensile Strength (kg mm <sup>-2</sup> )	Elongation (%)
EV batteries	12–15	4.5–6.5	4
SLI batteries	15–17	5–7	4

- b. *Casting properties*. Apabila grid dibuat dengan *casting*, logam harus memiliki *castability* yang baik sehingga cetakan dapat terisi dengan cukup pada temperatur rendah dan pada tingkat produksi yang tinggi pada industri mesin *casting*.
- c. *Good weldability*. Sejak plat baterai dirangkai semi blok positif-negatif dengan pengelasan pada *plate lugs* dengan *straps*, logam grid harus memiliki karakteristik *weldability* yang baik.
- d. *Corroton resistance*. Selama pengoperasian baterai, grid plat positif dikenakan potensial yang tinggi sehingga secara termodinamis tidak stabil. PbO<sub>2</sub> stabil pada potensial tersebut. terbentuknya lapisan korosi mengurangi nilai korosi grid secara signifikan, tetapi tidak dapat menghentikan proses sama sekali. Dengan demikian, grid plat positif adalah elemen yang krusial dari *lead-acid cells* dimana menentukan karakteristik performa dan ketahanan pada baterai.
- e. *Electrical properties*. Paduan timbal yang digunakan untuk pembuatan grid harus memiliki konduktivitas

elektrik yang tinggi sehingga dapat mengurangi *ohmic energy loss*.

- f. *Environmental and health aspect*. Logam paduan dan grid harus diproduksi dengan teknologi yang bersih sehingga tidak ada efek yang merugikan kesehatan pekerja atau berdampak pada lingkungan.
- g. *Economic consideration*. Biaya logam paduan yang murah dengan efisiensi teknologi yang tinggi diperlukan sehingga dapat menghasilkan grid dengan biaya yang murah.



**Gambar 2. 13** Properti utama pembentukan paduan timbal yang digunakan untuk casting grid battery [6]

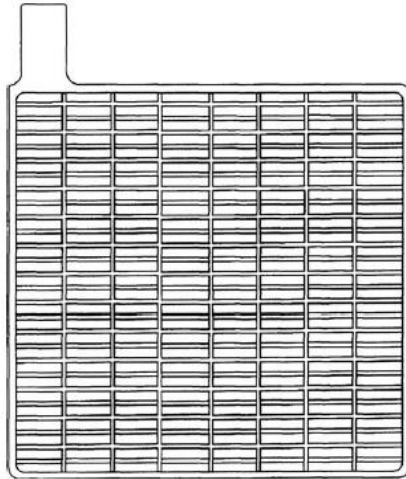
Pada gambar 2.13 ditunjukkan skema pemilihan logam paduan timbal untuk pembuatan grid pada baterai.

Pada tabel 2.2 ditunjukkan rangkuman paduan timbal yang paling banyak digunakan untuk produksi berbagai macam tipe *lead-acid battery*.

**Tabel 2. 2** Logam paduan yang digunakan untuk pembuatan grid baterai [6]

Alloying Additives	Application
Antimony alloys 4–11 wt% Sb, As, Sn, Cu (Ag)	Flat plates, tubular plates for traction batteries, older types of stationary batteries
Low-antimony alloys 0.5–3.0 wt% Sb, Se, Cu, S, As, Sn (Ag)	Flat plates, tubular plates for low-maintenance or maintenance-free batteries: SLI, traction, stationary
Lead–calcium alloys 0.05–0.07 wt% Ca, 0–3% Sn (Al), Ag, Bi	VRLA batteries
Pure lead Sn	Planté plates, Bell Syst. Batt. punched grids (Gates)
Antimony–cadmium alloy 1.5 wt% Sb, 1.5 wt% Cd	GNB ‘Absolyte battery’

Grid untuk SLI (*starting, lightning, ignition*), *traction*, dan baterai *stationary* berbentuk segi empat. Grid baterai konvensional (seperti pada gambar 2.14) terdiri dari *grid wires* disusun secara *horizontal-vertical* dan dilindungi dengan *frame* yang lebih tebal, serta memiliki *lug* untuk menghantarkan arus listrik kedalam dan keluar plat. Grid menopang massa aktif positif dan negatif dari plat, menghantarkan arus pada plat, menahan tegangan mekanis yang terjadi karena getaran reaksi massa aktif (saat *charging*, luasan massa aktif membesar, dan menyusut saat *discharging*). Grid positif harus memiliki ketahanan korosi yang tinggi untuk mempertahankan bentuk grid baterai dan tidak membatasi daya keluaran baterai. Disamping itu, desain grid harus dipastikan memiliki kontak elektrik dan mekanis yang sangat baik antara permukaan grid dan material aktif.

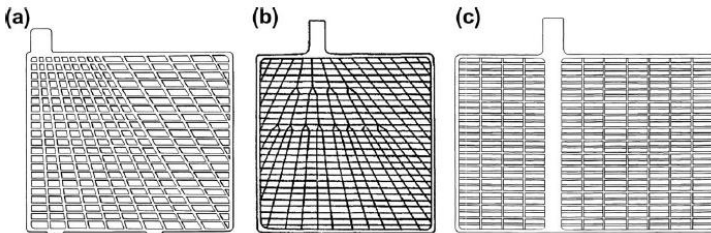


**Gambar 2. 14** Desain Grid Baterai Konvensional [6]

Kebutuhan dasar pada desain grid yaitu penghantar arus (*grid wires*) diposisikan sebagaimana rupa sehingga meminimalisir *ohmic drop* pada plat dan mampu menjamin agar distribusi arus pada plat seragam dan menjamin reaksi elektrokimia menghasilkan laju yang seragam pula.

Arus dikumpulkan dan ditarik melalui *lug* yang terletak di bagian atas kerangka batang plat. Desain grid memengaruhi *ohmic drop* plat pada aliran arus tinggi. Pada umumnya struktur grid SLI, *traction* dan *stationary* berbentuk segi empat dengan *grid wires* yang tersusun secara *vertical-horizontal*. Ada sebagian *traction battery* menggunakan desain grid berbentuk *diamond*. Aliran arus yang melalui *lug*, kemampuan penyebaran arus pada desain ini lebih baik dari desain sebelumnya. Struktur grid dapat meningkat secara signifikan dengan mengarahkan *vertical wires* melalui *plate lug*, sehingga mempercepat penyebaran arus dari suatu titik pada plat menuju *plate lug* dan dengan demikian mengurangi *voltage drop*. Untuk mencapainya, *plate lug* harus diposisikan sedekat mungkin dengan titik tengah pada atas kerangka batang plat.

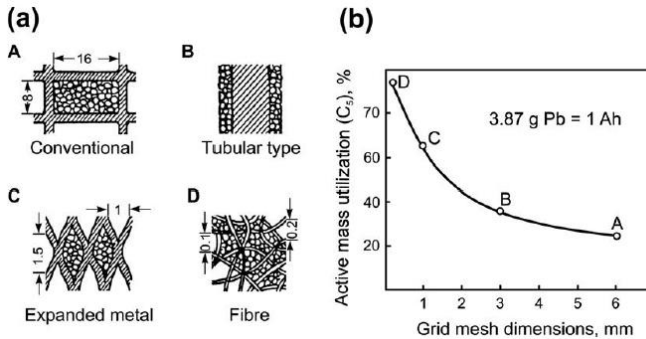
Gambar 2.15 (a, dan b) menunjukkan dua variasi dari beberapa desain grid baterai. Pola grid dengan *vertical lug* yang melewati sepanjang plat dari atas sampai bawah plat dan mengumpulkan arus melalui batang horizontal ditunjukkan pada gambar 2.15 (c). Konfigurasi grid dengan pola terakhir cocok untuk *high-power batteries*, namun lebih berat dibandingkan grid konvensional.



**Gambar 2. 15** Rectangular Grid (a,b) dengan kawat diagonal yang terhubung dengan *lug*, dan (c) dengan *vertical lug* yang melewati sepanjang plat dari atas sampai bawah plat dan mengumpulkan arus melalui kawat *horizontal*. [6]

Korelasi antara desain grid (*geometry*) dan *active material utilization* (perbandingan antara jumlah material aktif dengan jumlah arus yang dibangkitkan) telah diselidiki dengan empat tipe plat dengan perbedaan geometri grid seperti pada gambar 2.16 (a). pada gambar 2.16 (b) menunjukkan hubungan antara *active mass utilization coefficient* (dengan tingkat 5 jam *discharge*) dengan jarak antara *grid wires*. Dari percobaan didapatkan peningkatan *active material utilization* dari 25% menjadi 80% dengan semakin kecilnya jarak antara *grid bars* dari 6 mm menjadi 0.1-0.2 mm. Namun, tingkat laju korosi pada grid positif meningkat dengan mengecilnya jarak antar *grid bars*. Maka dari itu, desainer grid harus mampu menemukan hubungan yang optimal antara *active mass utilization coefficient* dengan laju korosi, dimana dapat memaksimalkan *service life* pada baterai.





**Gambar 2. 16** Grid Dengan Perbedaan *Local Geometry* (a).  
*Active Mass Utilization vs Local Grid Geometry* (b). [6]

Disamping kemampuan elektris, mekanis, dan korosif pada properti grid yang memadai, pola grid yang dibuat harus mampu dan mudah di *casting* tanpa adanya *defect*. Proses *double-grid casting* memberikan produktivitas yang tinggi, dan oleh karena itu sangat banyak diadopsi oleh industri baterai.

### 2.1.7 *Electrical vs Thermal Conductivity*

Perpindahan panas dengan konduksi melibatkan perpindahan energi pada material tanpa disertai perpindahan material secara keseluruhan. Nilai perpindahan panas tergantung dari temperatur dan konduktivitas panas pada material tersebut. Rasio dari konduktivitas panas dan konduktivitas elektrik pada suatu logam adalah sebanding terhadap temperaturnya. Hubungan antara keduanya dapat dibidang sebanding karena baik perpindahan panas maupun elektrik sama-sama melibatkan elektron bebas pada logam. Konduktivitas panas akan meningkat dengan rata-rata kecepatan partikel seiring meningkatnya perpindahan energi logam tersebut. namun konduktivitas elektrik menurun dengan meningkatnya kecepatan rata-rata partikel dikarenakan elektron yang saling bertabrakan. Artinya perbandingan konduktivitas panas dan elektrik tergantung dari kecepatan kuadrat, dimana proporsional terhadap temperatur kinetis. Kapasitas molar panas pada suatu gas monoatomic ditunjukkan pada persamaan 2.11. [7]

$$Cv = \frac{3}{2}R = \frac{3}{2}N_A k \quad (2.11)$$

Wiedemann-Franz Law dapat dipahami dengan perlakuan elektron pada gas dan membandingkan resultan konduktivitas panas dan elektrik. Konduktivitas panas dan elektrik dapat ditunjukkan pada persamaan 2.12 dan 2.13.

$$K = n(v)\lambda/2 \quad (2.12)$$

$$\sigma = ne^2 \lambda/m(v) \quad (2.13)$$

Dimana:

$Cv$  = molar heat capacity (J/K)

$R$  = gas constant (J/K·mol)

$N_A$  = Avogadro's number ( $6.022 \times 10^{23}$ )

$k$  = Boltzmann's constant (J/K·molecule)

$K$  = thermal conductivity (W/m·K)

$n$  = density of free electron ( $e/m^3$ )

$v$  = mean particle speed (m/s)

$\lambda$  = mean free path length (m)

$\sigma$  = electrical conductivity ( $[\Omega \cdot m]^{-1}$ )

$e$  = charge of an electron ( $1.60 \times 10^{-19}$  C)

$m$  = mass of an electron ( $9.11 \times 10^{-31}$  kg)

Lalu dengan menggunakan “ $v$ ” sebagai kecepatan kinetik ditunjukkan pada persamaan 2.14 untuk mensubstitusi ke Wiedemann-Franz Law yang ditunjukkan pada persamaan 2.15.

$$v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (2.14)$$

$$\frac{K}{\sigma} = \frac{4k^2 T}{\pi e^2} \quad (2.15)$$

$$\frac{K}{\sigma} = LT \quad (2.16)$$

Namun setelah melakukan eksperimen, konstanta yang didapatkan pada persamaan 2.16 tidak tepat sehingga dilakukan *quantum mechanical treatment*, dan didapatkan konstanta yang diinginkan mendekati persamaan 2.17.

$$L = \frac{K}{\sigma \cdot T} = \frac{\pi^2 k^2}{3e^2} = 2.45 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2 \quad (2.17)$$

Persamaan 2.17 sesuai dengan hasil eksperimen, dengan nilai hasil eksperimen yang ditunjukkan pada tabel 2.3, dan nilai konduktivitas elektrik serta logam pada tabel 2.4 dan 2.5. Faktanya, perbandingan konduktivitas panas dan elektrik terhadap Wiedemann-Franz Law dipengaruhi dengan perubahan temperatur. Dan, hasil yang sesungguhnya juga dipengaruhi dengan massa partikel bebas serta nilai densitas suatu partikel tersebut.

**Tabel 2. 3** Nilai Konstanta Lorenz Yang Didapatkan Pada Eksperimen [7]

Lorenz number in $10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$											
Metal	Ag	Au	Cd	Cu	Ir	Mo	Pb	Pt	Sn	W	Zn
273K	2.31	2.35	2.42	2.23	2.49	2.61	2.47	2.51	2.52	3.04	2.31
373K	2.37	2.4	2.43	2.33	2.49	2.79	2.56	2.6	2.49	3.2	2.33

**Tabel 2. 4** Nilai Konduktivitas Elektrik Pada Logam [8]

Electrical conductivity in $10^7/\text{Wm}$											
Metal	Ag	Au	Cd	Cu	Ir	Mo	Pb	Pt	Sn	W	Zn
295K	6.21	4.55	1.38	5.88	1.96	1.89	0.48	0.96	0.91	1.89	1.69

**Tabel 2. 5** Nilai Konduktivitas Panas Pada Logam [9]

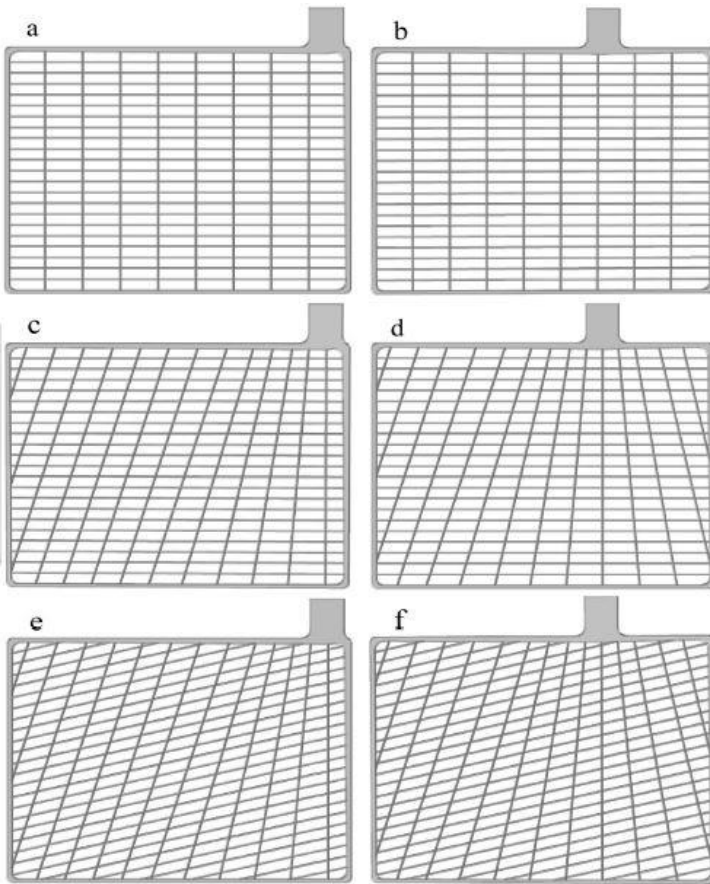
Thermal conductivity in $\text{W/mK}$											
Metal	Ag	Au	Cd	Cu	Ir	Mo	Pb	Pt	Sn	W	Zn
300K	429	317	96.8	401	147	138	35.3	71.6	66.6	174	116



mengoptimalkan konduksi untuk mengalirkan arus pada grid. Lalu pada *horizontal wire* (no 30) atau *cross wire* (no 32-40) berakhir di no 43 yang merupakan gabungan dari no 44 menjadi penopang pasta elektrokimia untuk konduksi.

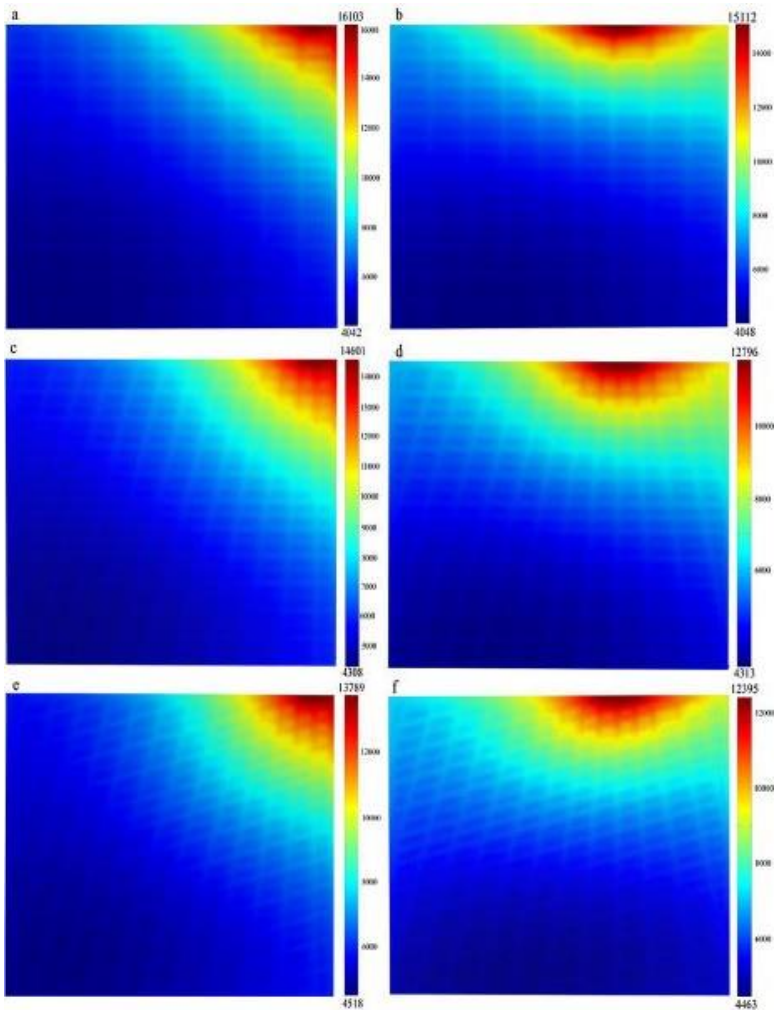
Meskipun metode dengan desain grid ini dapat menyelesaikan permasalahan terhadap penempelan pasta, namun ada dampak yang diakibatkan. Contohnya, salah satu dari prosesnya membutuhkan penggabungan material saat proses manufakturnya. Beberapa grid harus diberi perlakuan dengan penambahan unsur kimia (senyawa *persulfate* atau *perborate*). Pada proses lainnya, penambahan lapisan dengan material yang berbeda dengan cara *chemical* (contohnya: *electroplating*) atau dengan cara *mechanical* (contohnya *roll-bonding*). Perlakuan dengan cara tersebut memerlukan tambahan proses dan material yang secara signifikan dapat meningkatkan biaya manufaktur pada grid. Akibatnya, beberapa produsen baterai enggan untuk menambahkan proses tersebut kedalam fasilitas produksi.

Penelitian lainnya yang pernah menganalisis bentuk konfigurasi grid pada aki juga dilakukan oleh Ali Alagheband, et al. di *Islamic Azad University of Quchan, Quchan, Iran*, pada tahun 2017. Penelitian tersebut berjudul “*Optimization of Grid Configuration by Investigating Its Effect on Positive Plate of Lead-Acid Batteries via Numerical Modeling*”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari konfigurasi grid terhadap *ohmic voltage drop* yang dikarenakan oleh meningkatnya tingkat *discharge* pada *lead-acid battery*. Penelitian ini membandingkan pengaruh posisi *lug*, bentuk penghantar grid, serta bentuk *tapering wires* pada grid terhadap distribusi potensial. 6 desain grid yang berbeda dengan berat yang sama digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.



**Gambar 2. 18** 6 design grid untuk menginvestigasi pengaruh bentuk grid, (a) Conventional Side-lug, (b) Conventional Middle-lug, (c) Diagonal Side-lug, (d) Diagonal Middle-lug, (e) Double-diagonal Side-lug, (f) Double-diagonal Middle-lug. [11]

Hasil simulasi yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 2.19 dimana menunjukkan distribusi potensial tiap konfigurasi grid.



**Gambar 2. 19** Distribusi Current Density ( $A \cdot m^{-2}$ ) Model Grid a-f [11]

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa meletakkan *lug* ke bagian tengah, dan mengubah desain grid menjadi *double-diagonal* dapat meningkatkan distribusi potensial sampai dengan 15%.

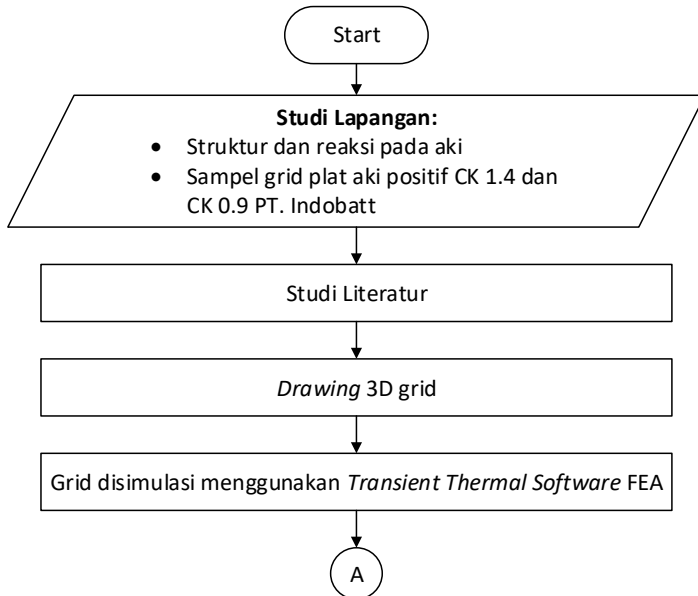
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

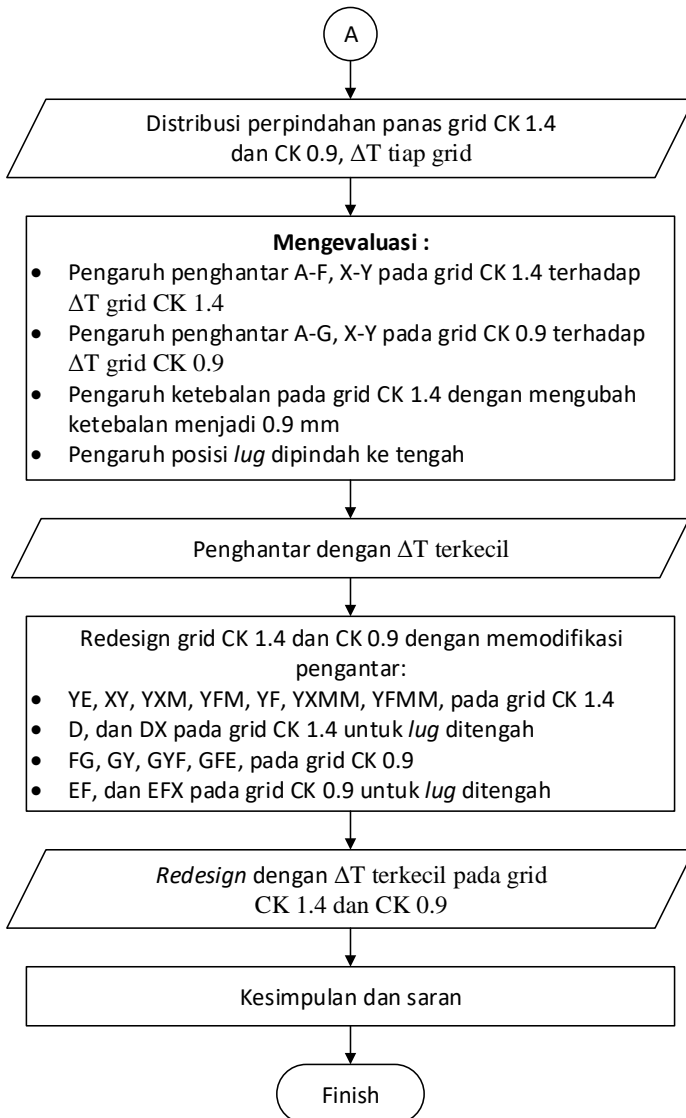


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Langkah-langkah tersebut diawali dengan mengambil sampel dari *grid* model CK 1.4 (positif) dan CK 0.9 (negatif), lalu dilakukan pengecekan distribusi panas menggunakan *software* FEA, setelah memperoleh hasil distribusi panas pada tiap *grid*, *grid* dievaluasi dan *re-design* untuk memperoleh distribusi panas yang seragam. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### **3.2 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada**

Tahap ini dilakukan penulis untuk mengetahui kondisi actual yang ada di lapangan dan mencari permasalahan yang ada sehingga dijadikan topik Tugas Akhir. Tahap ini menyangkut produksi aki di PT. Indobatt yang digunakan sebagai objek penelitian. Hal yang menjadi dasar dari identifikasi masalah adalah permasalahan desain grid plat aki positif PT. Indobatt terhadap distribusi elektron pada plat aki, sehingga dapat memengaruhi masa pakai aki.

### **3.3 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan proses ulasan terhadap buku dan jurnal yang mengandung informasi tentang faktor-faktor yang terkait dengan penelitian Tugas Akhir. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan literatur utama untuk mendukung analisa permasalahan yang ada.

### **3.4 Analisis**

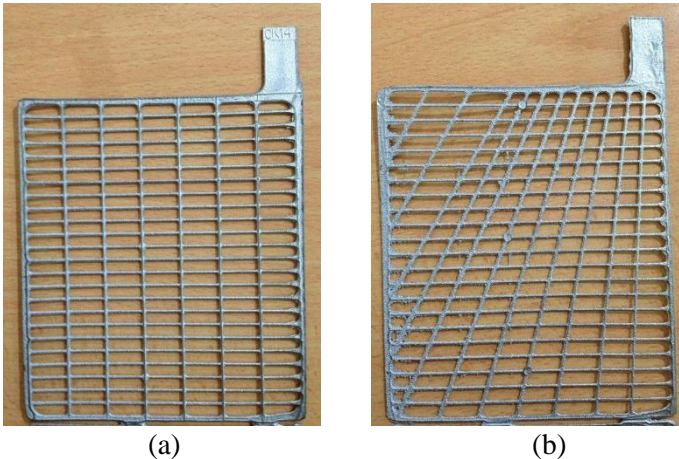
Penulis melakukan tahap analisis yaitu untuk mengetahui akar masalah dari percobaan dan membuat hipotesa awal. Tahapan yang dilakukan akan dijelaskan pada sub-bab dibawah ini.

#### **3.4.1 Identifikasi Aliran Arus**

Melakukan identifikasi aliran elektron untuk membuat hipotesa awal tentang distribusi elektron pada grid. Pada analisa ini identifikasi aliran elektron yang digunakan adalah saat elektron mengalir dari *lug* menuju seluruh kotak pada grid.

#### **3.4.2 Permodelan Grid Plat Positif dan Negatif**

Melakukan permodelan 2 grid plat positif dan negatif (grid CK 1.4 dan CK 0.9) menggunakan *software solidwork* untuk mendapatkan desain 3D. Permodelan yang dilakukan menyesuaikan bentuk asli dari desain yang ada pada PT. Indobatt seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** (a) Grid Plat Positif CK 1.4 (b) Grid Plat Negatif CK 0.9

### 3.4.3 Simulasi Menggunakan *Transient Thermal Analysis Software FEA*

Setelah grid plat positif dan negatif dimodelkan secara 3D, kemudian diimport untuk disimulasikan dalam software FEA menggunakan analisa *Transient Thermal*. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui distribusi elektron yang terjadi pada grid plat positif dan negatif, dengan menggunakan pendekatan secara distribusi perpindahan panas.

#### 3.4.3.1. *Initial Condition*

Pada simulasi FEA diatur kondisi awal pada grid dengan memasukkan input *initial temperature* pada grid sebesar 22°C. *Temperature* ini menghasilkan kondisi seluruh bagian grid dalam keadaan uniform, sehingga tidak ada perlakuan yang berbeda dari masing-masing penghantar pada grid.

Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	22. °C

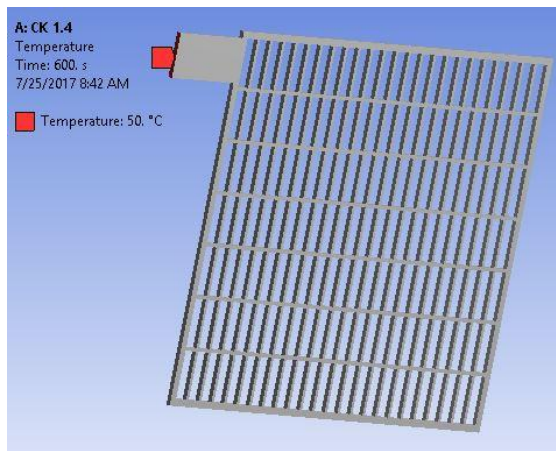
**Gambar 3. 3** Initial Temperatur Pada Simulasi FEA

### 3.4.3.2. Time Setting

Waktu simulasi yang digunakan pada simulasi FEA ini adalah selama 600 detik, karena setelah dilakukan percobaan berulang-ulang, didapatkan bahwa saat detik ke 600 distribusi panas yang terjadi pada grid sudah dalam keadaan stabil.

### 3.4.3.3. Input Data Temperatur

Pada simulasi FEA ini, diberikan temperatur konstan pada *lug* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *initial temperature* pada grid sehingga dapat terjadi distribusi perpindahan panas dari *lug* menuju seluruh bagian pada grid. Skema pemberian temperatur konstan pada *lug* ditunjukkan pada gambar 3.5.



**Gambar 3. 4** Temperatur konstan 50°C diberikan pada *lug*

### 3.4.4 Evaluasi Hasil Simulasi

Melakukan evaluasi untuk mengetahui pengaruh desain grid terhadap distribusi arus yang ada pada grid. Dari dua sample grid (grid CK 1.4 dan CK 0.9) dicari grid dengan distribusi elektron terbaik, dimana distribusi elektron yang terbaik ditunjukkan dengan perbedaan temperatur yang paling kecil pada tiap bagian grid dengan sumber panas yang

diberikan pada *lug*. Lalu pada tiap grid dilakukan evaluasi dengan memperbesar penghantar pada grid secara seragam dan disimulasikan kembali pada *software* FEA. Dengan begitu dapat mengetahui faktor desain grid yang mempengaruhi distribusi elektron.

### **3.4.5 Redesign Grid Plat Positif dan Negatif**

Melakukan *redesign* untuk mendapatkan model grid dengan distribusi elektron yang lebih merata dari desain grid yang sudah ada. *Redesign* dilakukan berdasarkan hasil evaluasi pada subbab sebelumnya, dimana mendapatkan 4 penghantar yang memiliki pengaruh terbesar kemudian penghantar tersebut dimodifikasi untuk mendapatkan hasil *redesign* yang optimal.

### **3.4.6 Simulasi Hasil Redesign**

Hasil *redesign* disimulasikan untuk membuktikan bahwa desain yang baru dibuat memang memiliki distribusi elektron yang lebih merata dari model yang sudah ada.

## **3.5 Pembahasan**

Pembahasan yang nantinya dilakukan adalah untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat sebelumnya yaitu mendapatkan desain terbaik untuk mendapatkan distribusi elektron yang merata pada grid aki.

## **3.6 Kesimpulan dan Saran**

Tahap ini merupakan tahap akhir dari pengerjaan Tugas Akhir. Berdasarkan tahapan sebelumnya akan diperoleh solusi yang bisa diajukan pada PT. Indobatt terkait desain grid yang memiliki distribusi elektron terbaik guna pertimbangan produksi aki PT. Indobatt kedepannya.

## **BAB IV**

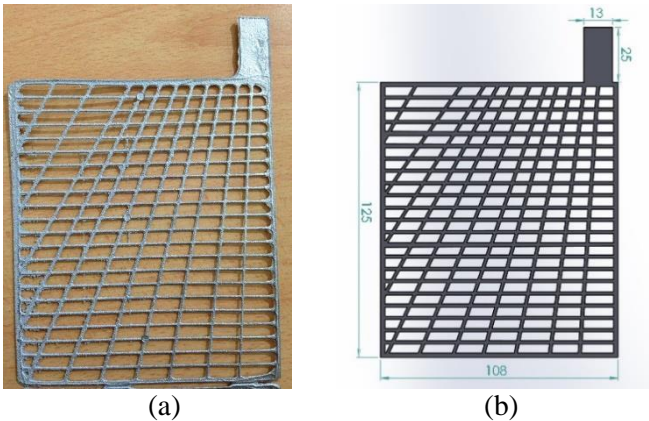
### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan membahas distribusi elektron pada desain grid yang ada di PT. Indobatt dan melakukan evaluasi serta melakukan *redesign* agar desain grid memiliki distribusi elektron yang merata. Analisis yang digunakan mengacu pada hasil simulasi yang dilakukan pada software FEA. Setelah itu melakukan evaluasi untuk dapat melanjutkan ke proses *redesign* sehingga memperoleh desain grid dengan distribusi elektron yang merata.

Hasil yang didapatkan pada simulasi software FEA berupa distribusi perpindahan panas yang memiliki nilai yang sebanding terhadap distribusi elektron, sehingga untuk mengetahui hasil distribusi elektron terhadap desain grid dapat menggunakan simulasi software FEA ini. Temperatur yang diberikan pada simulasi ini adalah 50°C (saat evaluasi) dan 100°C (saat *redesign*) pada bagian *lug*, sedangkan temperatur awal pada seluruh bagian grid adalah 22°C sehingga akan terjadi distribusi panas menuju seluruh bagian dingin pada grid, dengan demikian dapat diketahui hasil distribusi perpindahan panas terhadap desain grid. Untuk waktu simulasi yang digunakan adalah 600 s, karena pada kondisi tersebut distribusi perpindahan panas pada material timbal sudah stabil.

#### **4.1. Permodelan Desain Grid CK 1.4 dan CK 0.9**

Permodelan grid positif CK 1.4 dan grid negatif CK 0.9 diawali dengan menggambar secara 3D dengan software solidwork lalu di simulasikan dengan software FEA menggunakan analisa *Transient Thermal Analysis*. Ukuran grid CK 0.9 ditunjukkan pada gambar 4.1. (b), untuk grid CK 1.4 memiliki ukuran yang sama seperti grid CK 0.9.



**Gambar 4. 1** (a) Grid CK 0.9 sebelum dimodelkan, (b) Grid CK 0.9 dimodelkan secara 3D

**4.2. Sifat Material**



Pada simulasi FEA yang dilakukan, yaitu menggunakan *Transient Thermal Analysis* memerlukan *properties* material timbal sehingga simulasi dapat mewakili kondisi nyata pada *lead-acid battery*. Daftar properti material timbal dan konduktivitas panas secara tabular ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4. 1** Property Material Lead [8]

Properties of Outline Row 3: LEAD			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	11340	kg m <sup>-3</sup> ▼
3	Isotropic Thermal Conductivity	Tabular	
6	Specific Heat	124	J kg <sup>-1</sup> ... ▼

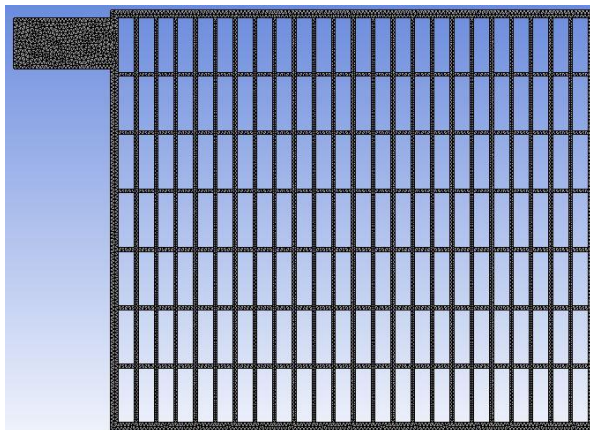


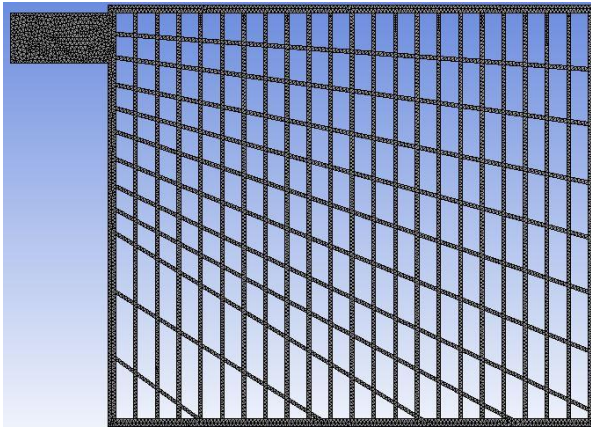
**Tabel 4. 2** Isotropic Thermal Conductivity Lead [8]

Table of Properties Row 3: Isotropic Thermal Conductivity		
	A	B
1	Temperature (K) 	Thermal Conductivity (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) 
2	200	36.6
3	300	35.2
4	400	33.8

### 4.3. Meshing

Metode FEA digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEA adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Hasil *meshing* grid CK 1.4 dan grid CK 0.9 dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3.

**Gambar 4. 2** Grid CK 1.4 Yang Sudah di Mesh

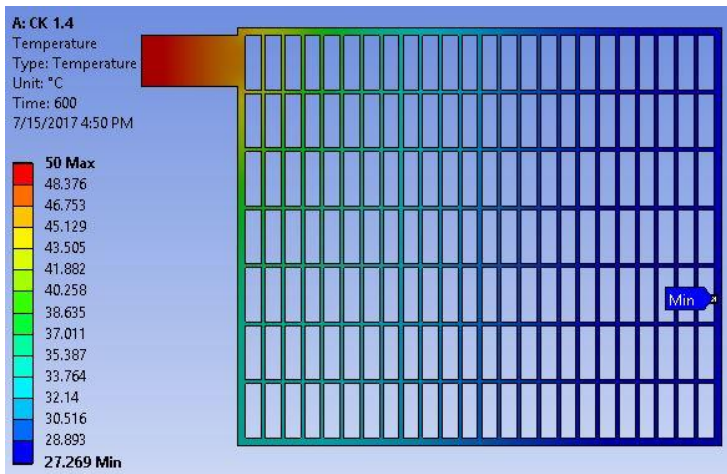


**Gambar 4. 3** Grid CK 0.9 Yang Sudah di Mesh

*Meshing* untuk grid CK 1.4 dan grid CK 0.9 yang sudah dimodelkan ditunjukkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3. *Meshing* menghasilkan jumlah *nodes* 186256 dan jumlah *elements* 91500 pada CK 1.4, serta jumlah *nodes* 110470 dan jumlah *elements* 51553 pada CK 0.9.

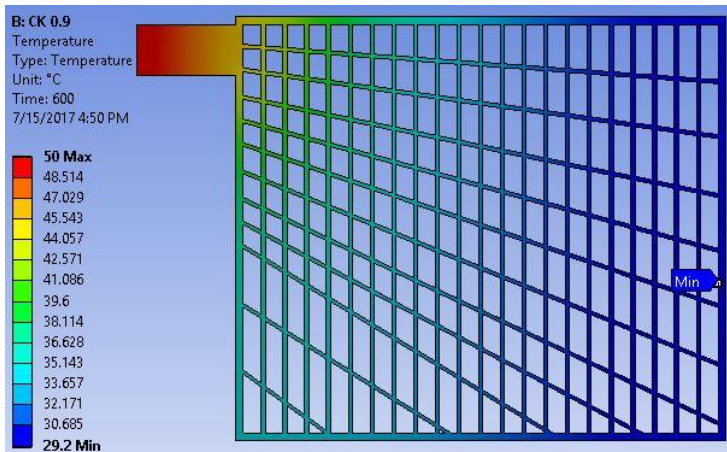
#### **4.4. Analisa Permodelan FEA**

Grid CK 1.4 dan grid CK 0.9 yang telah di *meshing* selanjutnya diberikan perlakuan seragam yaitu dengan memberikan temperatur awal pada seluruh bagian grid sebesar 22°C dan temperatur konstan 50°C pada *lug*, sehingga akan terjadi distribusi panas dari *lug* menuju seluruh bagian pada grid. Untuk waktu yang digunakan adalah siklus selama 600 detik, dikarenakan distribusi perpindahan panas pada grid selama 600 detik telah stabil, dan apabila waktu diperlama, akan sulit melihat hubungan antara desain grid dengan distribusi perpindahan panas karena seluruh bagian grid akan mendekati temperatur konstan 50°C yang diberikan pada *lug*. Setelah grid di mesh dan analisa yang digunakan untuk setiap simulasi sama, tiap grid dapat disimulasikan dan mendapatkan hasil distribusi perpindahan panas dan perbedaan temperatur pada tiap grid sebagai berikut.



**Gambar 4. 4** Hasil Simulasi Grid CK 1.4

Simulasi yang dilakukan pada grid CK 1.4 menghasilkan distribusi perpindahan panas dengan temperatur maksimal yang terletak pada *lug* sebesar 50°C dan temperatur minimum terletak pada titik yang ditunjukkan pada gambar 4.4 sebesar 27.268°C, sehingga perbedaan temperturnya adalah 22.732°C.



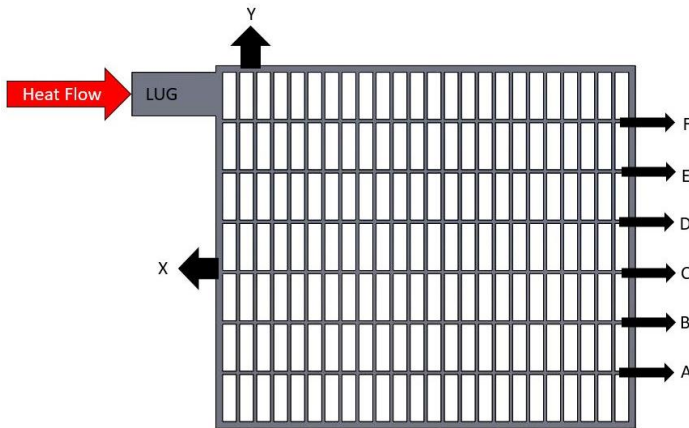
**Gambar 4. 5** Hasil Simulasi Grid CK 0.9

Simulasi yang dilakukan pada grid CK 0.9 menghasilkan distribusi perpindahan panas dengan temperatur maksimal yang terletak pada *lug* sebesar 50°C dan temperatur minimum terletak pada titik yang ditunjukkan pada gambar 4.5 sebesar 29.197°C, sehingga perbedaan temperaturnya adalah 20.803°C.

Simulasi yang dilakukan menggunakan pendekatan distribusi elektron dengan distribusi perpindahan panas, dimana variabel terhadap luasan material yang ditunjukkan oleh penurunan panas mewakili berkurangnya distribusi elektron pada luasan tersebut. Dengan demikian, grid yang memiliki distribusi elektron yang lebih merata ditunjukkan dengan perbedaan temperatur yang lebih kecil. Dari hasil simulasi yang didapatkan pada grid CK 1.4 dan grid CK 0.9, dapat disimpulkan bahwa grid CK 0.9 memiliki distribusi elektron yang lebih dibandingkan dengan grid CK 1.4 meskipun grid CK 1.4 lebih tebal 0.5 mm. Dari hasil simulasi awal CK 1.4 dan CK 0.9, dievaluasi untuk melakukan *redesign* sehingga mendapatkan distribusi perpindahan panas yang merata. *Redesign* yang dilakukan yaitu memperbesar penghantar pada grid yang mampu memperkecil perbedaan temperatur secara signifikan sehingga distribusi elektron pada grid lebih merata.

#### **4.5. Evaluasi Grid CK 1.4**

Dari hasil simulasi awal CK 1.4 pada siklus 600s terdapat perbedaan temperatur antara sumber panas dengan temperatur terendah pada grid sebesar 22.732°C, sehingga perlu dilakukan *redesign* untuk memperkecil perbedaan temperatur tersebut. Sebelum melakukan *redesign*, perlu diketahui hubungan tiap penghantar pada grid dengan melakukan evaluasi. Evaluasi yang dilakukan adalah mengidentifikasi bagian penghantar mana yang memiliki peran terbesar untuk memperkecil perbedaan temperatur secara signifikan pada grid CK 1.4. Dalam mempermudah urutan modifikasi grid CK 1.4, penghantar pada grid diberi penamaan seperti pada gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Grid CK 1.4 serta penamaan penghantar yang ingin dimodifikasi

Penghantar pada tiap desain diperlebar seragam 1 mm sehingga perbedaan distribusi perpindahan panas hanya dipengaruhi letak penghantar, bukan dari jumlahnya. Penamaan desain dan hasil dari penambahan penghantar terhadap distribusi perpindahan panas dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4.

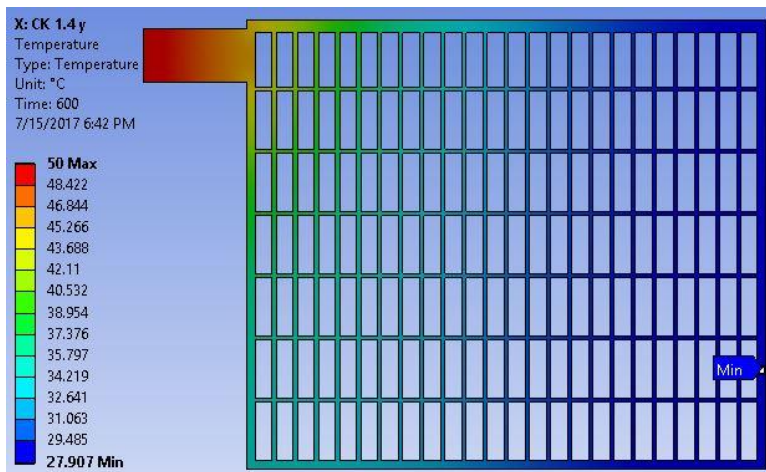
**Tabel 4. 3** Keterangan Penamaan Desain Pada Evaluasi Grid CK 1.4

Kode Desain	Keterangan
CK 1.4	Grid CK 1.4 awal (ketebalan 1.4 mm)
CK 1.4 A	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar A seragam 1 mm
CK 1.4 B	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar B seragam 1 mm
CK 1.4 C	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar C seragam 1 mm
CK 1.4 D	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar D seragam 1 mm
CK 1.4 E	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar E seragam 1 mm
CK 1.4 F	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar F seragam 1 mm
CK 1.4 X	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar X seragam 1 mm
CK 1.4 Y	Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar Y seragam 1 mm
CK 1.4 0.9	Grid CK 1.4 dengan ketebalan 0.9 mm

**Tabel 4. 4** Hubungan Antara Penghantar Pada Grid CK 1.4 Dengan Distribusi Temperatur

Kode Desain	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	% increase	Ranking
CK 1.4 Y	50	27.907	2.343%	1
CK 1.4 F	50	27.863	2.182%	2
CK 1.4 E	50	27.579	1.141%	3
CK 1.4 X	50	27.516	0.909%	4
CK 1.4 D	50	27.484	0.792%	5
CK 1.4 C	50	27.443	0.642%	6
CK 1.4 B	50	27.409	0.517%	7
CK 1.4 A	50	27.355	0.319%	8
CK 1.4	50	27.268	0.000%	9
CK 1.4 0.9	50	27.225	-0.158%	10

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa penghantar grid CK 1.4 yang memiliki %*increase* terbesar apabila dimodifikasi adalah penghantar Y dan F. Dimana %*increase* adalah persentase peningkatan  $T_{\min}$  desain grid evaluasi yang dibandingkan dengan  $T_{\min}$  grid CK 1.4 awal. Dengan demikian, apabila dibutuhkan memperbesar dua penghantar, opsi terbaiknya adalah memperbesar penghantar Y dan F.

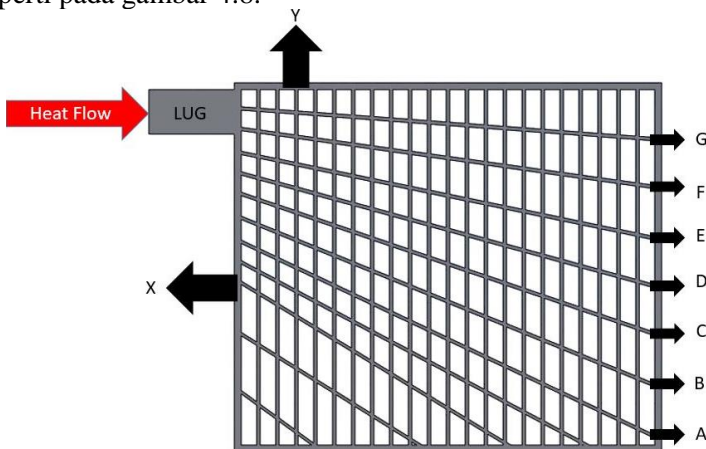


**Gambar 4. 7** Hasil Simulasi Grid CK 1.4 Dengan Memperbesar Penghantar Y

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada pembesaran masing-masing penghantar grid CK 1.4, dapat disimpulkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada penghantar yang letaknya jauh terhadap *lug*, tidak berpengaruh secara signifikan terhadap distribusi perpindahan panas. Sebaliknya, penghantar yang letaknya dekat terhadap *lug* perlu dimodifikasi seefektif mungkin agar memperkecil perbedaan temperatur pada grid CK 1.4 secara signifikan.

#### 4.6. Evaluasi Grid CK 0.9

Dari hasil simulasi awal CK 0.9 pada siklus 600s terdapat perbedaan temperatur antara sumber panas dengan temperatur terendah pada grid sebesar  $20.803^{\circ}\text{C}$ , sehingga perlu dilakukan *redesign* untuk memperkecil perbedaan temperatur tersebut. Sebelum melakukan *redesign*, perlu diketahui hubungan tiap penghantar pada grid dengan melakukan evaluasi. Evaluasi yang dilakukan adalah mengidentifikasi bagian penghantar mana yang memiliki peran terbesar untuk memperkecil perbedaan temperatur secara signifikan pada grid CK 0.9. Dalam mempermudah urutan modifikasi grid CK 0.9, penghantar pada grid diberi penamaan seperti pada gambar 4.8.



**Gambar 4. 8** Grid CK 0.9 serta penamaan penghantar yang ingin dimodifikasi



Penghantar pada tiap desain diperlebar seragam 1 mm sehingga perbedaan distribusi perpindahan panas hanya di pengaruhi letak penghantar, bukan dari jumlahnya. Penamaan desain dan hasil penambahan penghantar terhadap distribusi perpindahan panas dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6.

**Tabel 4. 5** Keterangan Penamaan Desain Pada Evaluasi Grid CK 0.9

Kode Desain	Keterangan
<b>CK 0.9</b>	Grid CK 0.9 awal (ketebalan 0.9 mm)
<b>CK 0.9 A</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar A seragam 1 mm
<b>CK 0.9 B</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar B seragam 1 mm
<b>CK 0.9 C</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar C seragam 1 mm
<b>CK 0.9 D</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar D seragam 1 mm
<b>CK 0.9 E</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar E seragam 1 mm
<b>CK 0.9 F</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar F seragam 1 mm
<b>CK 0.9 G</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G seragam 1 mm
<b>CK 0.9 X</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar X seragam 1 mm
<b>CK 0.9 Y</b>	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar Y seragam 1 mm

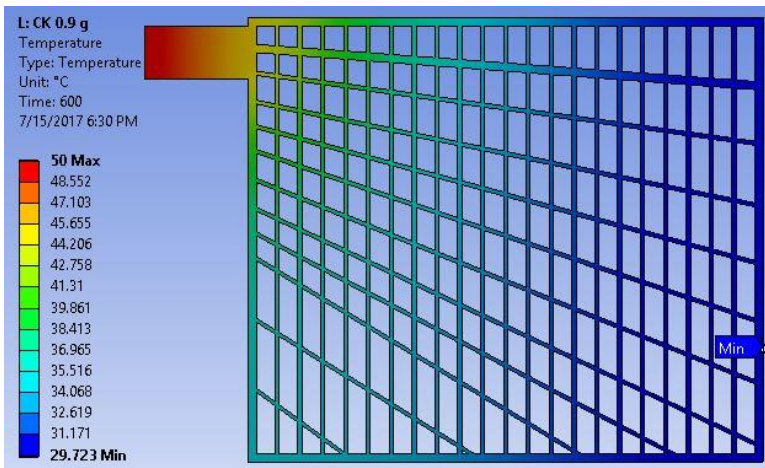
**Tabel 4. 6** Hubungan Antara Penghantar Pada Grid CK 0.9 Dengan Distribusi Temperatur

Kode Desain	$T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\min}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	% increase	Ranking
<b>CK 0.9 G</b>	50	29.723	9.003%	1
<b>CK 0.9 F</b>	50	29.697	8.908%	2
<b>CK 0.9 Y</b>	50	29.667	8.798%	3
<b>CK 0.9 E</b>	50	29.527	8.284%	4
<b>CK 0.9 D</b>	50	29.437	7.954%	5
<b>CK 0.9 X</b>	50	29.405	7.837%	6
<b>CK 0.9 C</b>	50	29.384	7.760%	7
<b>CK 0.9 B</b>	50	29.292	7.423%	8
<b>CK 0.9 A</b>	50	29.223	7.170%	9
<b>CK 0.9</b>	50	29.197	7.074%	10



Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa penghantar grid CK 0.9 yang memiliki %*increase* terbesar apabila dimodifikasi adalah penghantar G dan F. Dimana %*increase* adalah persentase peningkatan  $T_{\min}$  desain grid evaluasi yang dibandingkan dengan  $T_{\min}$  grid CK 1.4 awal. Dengan demikian, apabila dibutuhkan memperbesar dua atau tiga penghantar, opsi terbaiknya adalah memperbesar penghantar G, F, dan E.

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada pembesaran masing-masing penghantar grid CK 0.9, dapat disimpulkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada penghantar yang letaknya jauh terhadap *lug*, tidak berpengaruh secara signifikan terhadap distribusi perpindahan panas. Sebaliknya, penghantar yang letaknya dekat terhadap *lug* perlu dimodifikasi seefektif mungkin agar memperkecil perbedaan temperatur pada grid CK 0.9 secara signifikan. Seperti pada gambar 4.9 yang menunjukkan bahwa penghantar G jika diperbesar secara seragam memiliki persentase peningkatan paling besar diantara penghantar lainnya jika diperbesar secara seragam pula.



**Gambar 4. 9** Hasil Simulasi Grid CK 0.9 Dengan Memperbesar Penghantar G

#### 4.7. *Redesign* Grid Positif CK 1.4 dan Grid Negatif CK 0.9

*Redesign* yang dilakukan pada grid bertujuan untuk memperkecil perbedaan temperatur antara sumber panas *lug* dengan seluruh bagian grid dengan penambahan material timbal sebanyak 2 gram untuk grid dengan ketebalan 0.9 mm. Pada *redesign* ini, temperatur konstan yang diberikan pada *lug* diubah menjadi 100°C agar dapat mengetahui pengaruh distribusi perpindahan panas apabila ditambah perbedaan temperaturnya, sehingga dalam kenyataannya dapat mengetahui hubungan distribusi elektron terhadap tingkat *charging* pada aki. Pada evaluasi yang dilakukan pada grid CK 1.4, setelah ketebalannya dikurangi menjadi 0.9, perbedaan temperaturnya tidak jauh berbeda dibandingkan dengan ketebalan 1.4, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan ketebalan pada grid tidak memberikan pengaruh yang signifikan, sedangkan penambahan material secara melintang dapat memperkecil perbedaan temperatur lebih efektif daripada penambahan ketebalan grid. Menentukan penambahan 2 gram dari desain awal dikarenakan beberapa faktor, seperti material timbal yang cukup langka, dan akan menjadi suatu keuntungan bagi produsen aki apabila hanya dengan sedikit penambahan material timbal namun dapat meningkatkan keseragaman distribusi perpindahan panas.

Pada *redesign* grid ini, ketebalan grid CK 1.4 dan grid CK 0.9 disamakan menjadi 0.9 mm sehingga dapat membandingkan secara langsung grid dengan ketebalan yang sama yang telah dimodifikasi ketebalan penghantarnya. Untuk menentukan bentuk penghantar dengan batasan penambahan 2 gram timbal, ditunjukkan pada perhitungan dibawah ini.

- $m$  (penambahan berat): 2 gram timbal
- $\rho$  (massa jenis timbal): 11,34 g/cm<sup>3</sup>

V (volume penambahan timbal tiap grid):

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2 \text{ g}}{11.34 \text{ g/cm}^3} \approx 180 \text{ mm}^3$$

- Variabel tetap: t (tebal) = 0.9 mm
- Variabel bebas: l (lebar) = 1 mm atau 2 mm
- Variabel yang dicari: p (panjang) =  $\frac{V}{t \cdot l}$

Contoh perhitungan mencari ukuran penghantar dengan penambahan 2 gram timbal:

- Mencari ukuran penghantar tambahan grid CK 1.4 YFMM :
  1. Menentukan lebar tiap penghantar:  
2 mm untuk penghantar Y dan F, serta 1 mm tiap penghantar melintang M (setara dengan tiga penghantar dengan masing-masing lebar 2 mm).
  2. Menentukan panjang tiap penghantar:  

$$p = \frac{V}{t \cdot l} = \frac{180}{0.9 \cdot 2} = 100 \text{ mm}$$

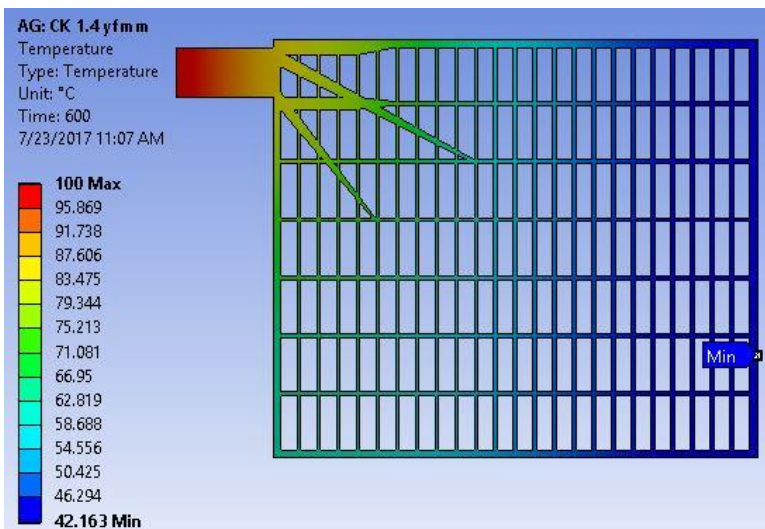
$$\frac{p}{3} = 33.3 \text{ mm (tiap penghantar)}$$
  3. Dengan demikian penghantar Y dan F memiliki lebar 2 mm dan panjang 33.3 mm, serta dua penghantar melintang M memiliki lebar dan panjang masing-masing 1 mm dan 66.7 mm.

**Tabel 4. 7** Keterangan Penamaan *Redesign* Pada Evaluasi Grid CK 1.4

Kode <i>Redesign</i>	Keterangan
CK 1.4	Grid CK 1.4 awal (ketebalan 1.4 mm)
CK 1.4 YE	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y dan E sebanyak 2 gram
CK 1.4 XY	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar X dan Y sebanyak 2 gram
CK 1.4 YF	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y dan F sebanyak 2 gram
CK 1.4 YFM	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y, F dan 1 penghantar melintang sebanyak 2 gram
CK 1.4 YXM	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y, X dan 1 penghantar melintang sebanyak 2 gram
CK 1.4 YXMM	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y, X dan 2 penghantar melintang sebanyak 2 gram
CK 1.4 YFMM	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memperbesar penghantar Y, F dan 2 penghantar melintang sebanyak 2 gram
CK 1.4 Center	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memindahkan posisi <i>lug</i> ketengah
CK 1.4 Center D	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memindahkan posisi <i>lug</i> ketengah serta memperbesar penghantar D sebanyak 2 gram
CK 1.4 Center DX	Grid CK 1.4 (ketebalan 0.9 mm) dengan memindahkan posisi <i>lug</i> ketengah serta memperbesar penghantar D dan X sebanyak 2 gram

**Tabel 4. 8** Hasil Redesign Grid CK 1.4 Terhadap Distribusi Temperatur

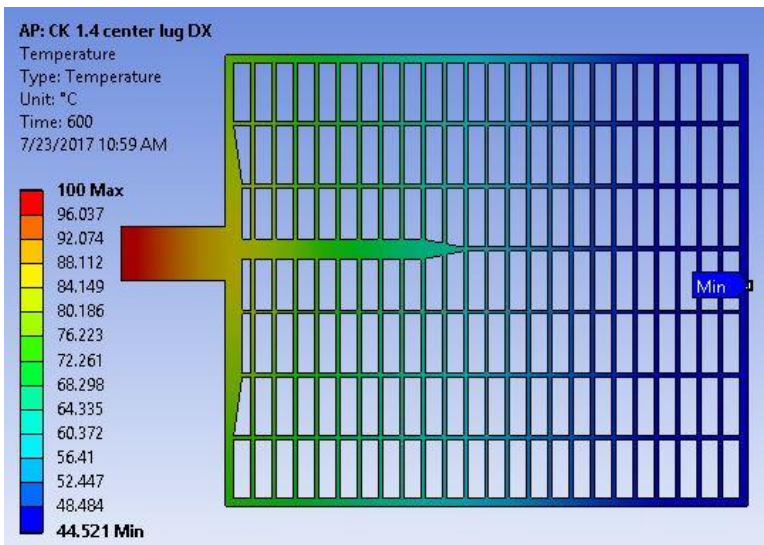
Kode Redesign	$T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\min}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	% increase	Ranking
CK 1.4 Center DX	100	44.521	21.659%	1
CK 1.4 Center D	100	44.429	21.407%	2
CK 1.4 YFMM	100	42.163	15.215%	3
CK 1.4 YXMM	100	42.065	14.947%	4
CK 1.4 YF	100	41.312	12.890%	5
CK 1.4 YFM	100	41.061	12.204%	6
CK 1.4 YXM	100	40.95	11.901%	7
CK 1.4 XY	100	40.484	10.627%	8
CK 1.4 YE	100	40.218	9.900%	9
CK 1.4 Center	100	38.443	5.050%	10
CK 1.4	100	36.595	0.000%	11



**Gambar 4. 10** Grid CK 1.4 dengan pembesaran penghantar Y, F dan menambahkan dua penghantar melintang

Dari hasil redesign pada tabel 4.8 menunjukkan bahwa dengan penambahan 2 gram timbal pada grid dan diletakkan pada penghantar Y, F, dan dua penghantar melintang dapat meningkatkan keseragaman sebesar 15.215% dibandingkan dengan desain awal CK 1.4. Desain ini merupakan desain yang memiliki keseragaman terbaik diantara modifikasi desain lainnya apabila tidak merubah posisi *lug* pada grid. Desain grid CK 1.4 YFMM ditunjukkan pada gambar 4.11.

Lalu untuk *redesign* grid CK 1.4 dengan meletakkan posisi *lug* ditengah serta memperbesar penghantar D dan X dapat meningkatkan keseragaman sebesar 21.659% dibandingkan dengan desain awal grid CK 1.4. Desain grid CK 1.4 dengan meletakkan *lug* ditengah dan memperbesar penghantar DX ditunjukkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4. 11** Grid CK 1.4 dengan peletakkan *lug* ditengan dan memperbesar penghantar D dan X

Sama seperti grid CK 1.4, grid CK 0.9 juga di desain ulang dengan penambahan 2 gram timbal untuk memperbesar penghantar

yang dapat meningkatkan keseragaman pada grid secara signifikan. Hasil redesign yang dilakukan pada grid CK 0.9 ditunjukkan pada tabel 4.10.

**Tabel 4. 9** Keterangan Penamaan Redesign Pada Evaluasi Grid CK 0.9

Kode Redesign	Keterangan
CK 0.9	Grid CK 0.9 awal (ketebalan 0.9 mm)
CK 0.9 FG	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar F dan G sebanyak 2 gram
CK 0.9 GY	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G dan Y sebanyak 2 gram
CK 0.9 GFE	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G, F dan E sebanyak 2 gram
CK 0.9 GYF	Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G, Y dan F sebanyak 2 gram
CK 0.9 Center	Grid CK 0.9 dengan memindahkan posisi lug ketengah
CK 0.9 Center EF	Grid CK 0.9 dengan memindahkan posisi lug ketengah serta memperbesar penghantar E dan F sebanyak 2 gram
CK 0.9 Center EFX	Grid CK 0.9 dengan memindahkan posisi lug ketengah serta memperbesar penghantar E, F dan X sebanyak 2 gram

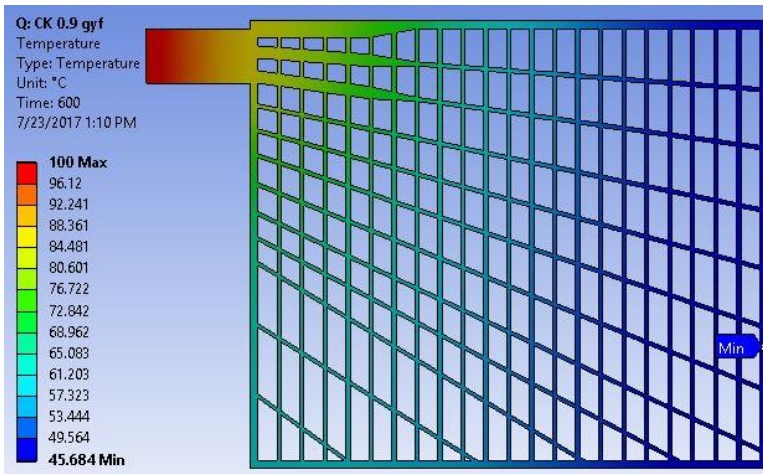
**Tabel 4. 10** Hasil Redesign Grid CK 0.9 Terhadap Distribusi Temperatur

Kode Redesign	$T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\min}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	% increase	Ranking
CK 0.9 Center EFX	100	48.397	32.250%	1
CK 0.9 Center EF	100	48.055	31.316%	2
CK 0.9 GYF	100	45.684	24.837%	3
CK 0.9 FG	100	45.659	24.768%	4
CK 0.9 GY	100	45.486	24.296%	5
CK 0.9 Center	100	45.305	23.801%	6
CK 0.9 GFE	100	45.283	23.741%	7
CK 0.9	100	42.04	14.879%	8

Dari hasil redesign pada tabel 4.10 menunjukkan bahwa dengan penambahan 2 gram timbal pada grid dan diletakkan pada penghantar G, Y, dan F dapat meningkatkan keseragaman sebesar



24.837% dibandingkan dengan desain awal CK 1.4. Desain ini merupakan desain yang memiliki keseragaman terbaik diantara modifikasi desain lainnya apabila tidak merubah posisi *lug* pada grid. Desain grid CK 0.9 GYF ditunjukkan pada gambar 4.13.

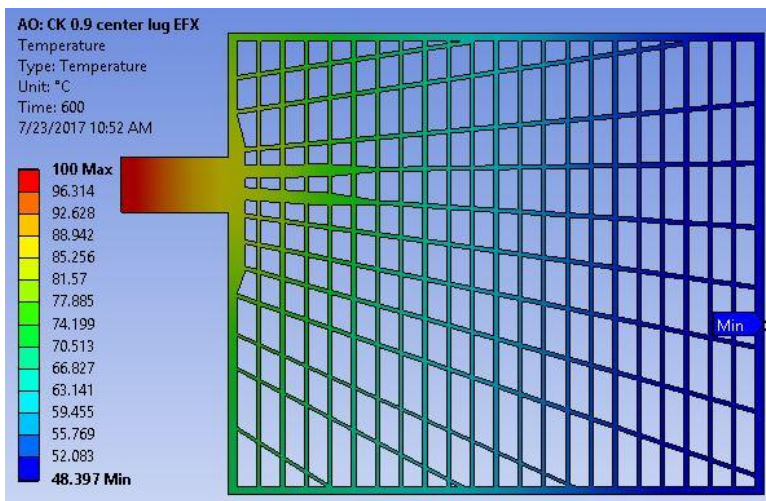


**Gambar 4. 12** Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G, Y, dan F

Pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa grid CK 0.9 GYF memiliki temperatur minimal 45.684°C, sehingga apabila dibandingkan dengan desain awal grid CK 1.4 yang memiliki temperatur minimal 36.595°C, dapat disimpulkan bahwa grid CK 0.9 GYF mampu meningkatkan keseragaman temperatur sebesar 24.837% dibandingkan dengan desain awal CK 1.4.

Lalu untuk *redesign* grid CK 0.9 dengan meletakkan posisi *lug* ditengah serta memperbesar penghantar E, F dan X dapat meningkatkan keseragaman sebesar 32.250% dibandingkan dengan desain awal grid CK 1.4. Desain grid CK 0.9 dengan meletakkan *lug* ditengah dan memperbesar penghantar EFX ditunjukkan pada gambar 4.14.





**Gambar 4. 13** Grid CK 0.9 dengan meletakkan *lug* ditengan dan memperbesar penghantar E, F dan X

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis distribusi elektron pada desain grid negatif CK 1.4 dan grid positif CK 0.9 yang di produksi PT. Indobatt Industri Permai, berdasarkan studi literatur, analisis simulasi desain grid awal, serta analisis hasil *redesign* grid terhadap distribusi elektron menggunakan pendekatan distribusi perpindahan panas yang disimulasikan dengan *software* FEA adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa grid CK 0.9 memiliki distribusi elektron yang lebih seragam dibandingkan dengan grid CK 1.4. Dimana grid CK 0.9 lebih seragam 7.07% dibandingkan dengan grid CK 1.4.
2. Ketebalan grid tidak banyak memengaruhi keseragaman distribusi elektron, namun *redesign* pada lebar penghantar grid dapat meningkatkan keseragaman distribusi elektron secara signifikan. Seperti pada grid CK 1.4 apabila ketebalan dikurangi menjadi 0.9 mm, keseragaman distribusi elektron hanya berkurang 0.16% dibandingkan dengan ketebalan 1.4 mm.
3. Grid CK 1.4 YFMM merupakan *redesign* yang memiliki keseragaman terbaik diantara *redesign* CK 1.4 lainnya apabila tidak merubah posisi *lug* pada grid. Grid CK 1.4 YFMM mampu meningkatkan keseragaman distribusi elektron sebesar 15.215% dibandingkan grid awal CK 1.4.
4. Grid CK 0.9 GYF merupakan *redesign* yang memiliki keseragaman terbaik diantara *redesign* CK 0.9 lainnya apabila tidak merubah posisi *lug* pada grid. Grid CK 0.9 GYF mampu meningkatkan keseragaman distribusi elektron sebesar 24.837% dibandingkan grid awal CK 1.4.
5. Merubah posisi *lug* ke bagian tengah pada grid dapat meningkatkan keseragaman distribusi elektron. Dimana pada grid CK 1.4 dapat meningkatkan keseragaman sebesar

- 5.05%, dan pada grid CK 0.9 dapat meningkatkan keseragaman sebesar 23.801% dibandingkan dengan meletakkan posisi *lug* di ujung seperti desain awal CK 1.4.
6. Grid CK 1.4 dengan memperbesar penghantar DX dan posisi *lug* diletakkan di bagian tengah mampu meningkatkan keseragaman sebesar 21.659% dibandingkan dengan desain awal grid CK 1.4.
  7. Grid CK 0.9 dengan memperbesar penghantar EFX dan posisi *lug* diletakkan di bagian tengah mampu meningkatkan keseragaman sebesar 32.25% dibandingkan dengan desain awal grid CK 1.4.
  8. Dengan mengubah temperatur pada *lug* menjadi 100°C, %increase grid CK 0.9 terhadap grid CK 1.4 meningkat menjadi 14.879% dari kondisi saat temperatur *lug* 50°C yaitu 7.074%. Hal tersebut dapat dikaitkan terhadap kondisi aki, sehingga apabila diberikan tingkat *charging* yang semakin tinggi maka grid CK 1.4 akan semakin cepat mengalami kegagalan.

## 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PT. Indobatt adalah sebagai berikut:

1. Agar mengkaji ulang pemilihan desain grid positif yang menggunakan grid CK 1.4, karena dengan menggunakan analisis distribusi elektron menunjukkan bahwa desain grid CK 0.9 jauh lebih seragam.
2. Apabila PT. Indobatt masih ingin menggunakan desain grid CK 1.4 dianjurkan untuk menambahkan penghantar seperti *redesign* CK 1.4 YFMM, atau lebih baik lagi dengan memindahkan posisi *lug* ke bagian tengah serta menambahkan penghantar DX.
3. Untuk mendapatkan grid dengan distribusi elektron yang optimal, PT. Indobatt agar menggunakan desain grid CK 0.9 GYF, atau lebih baik lagi dengan memindahkan posisi *lug* ke bagian tengah serta menambahkan penghantar EFX.

## DAFTAR PUSTAKA

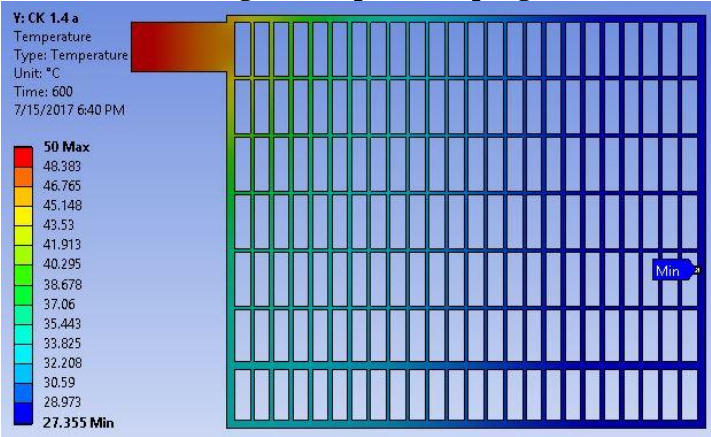
- [1] Data Indoanalysis.co.id
- [2] Data PT. Indobatt Industri Permai
- [3] Suozzo, Christopher, 2008. *Lead-Acid Battery And State of Health Diagnosis*. Ohio : The Ohio State University
- [4] Baroody, Ronald, 2009. *Evaluation of Rapid Electric Battery Charging*. Las Vegas: University of Nevada
- [5] D. Pavlov, 1992. *Premature Capacity Loss (PCL) of the positive lead/acid battery plate: a new concept to describe the phenomenon*. Bulgaria : Bulgarian Academy of Sciences.
- [6] D. Pavlov, 2011. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. The Great Britain: ELSEVIER
- [7] Kittel, Charles, 1976. *Introduction to Solid State Physics, 5th Ed.* New York: Wiley.
- [8] Kittel, Charles, 1996. *Introduction to Solid State Physics, 7th Ed.* New York: Wiley.
- [9] Incropera, Frank P. et al., 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Ed.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Schaeffer, Charles J. et al., 2010. *Method of Producing Battery Plates*. Michigan: Johnson Controls Technology Company.
- [11] Ali Alagheband, et al., 2017. *Optimization of Grid Configuration by Investigating Its Effect on Positive Plate of Lead-Acid Batteries via Numerical Modeling*. Quchan: Islamic Azad University of Quchan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

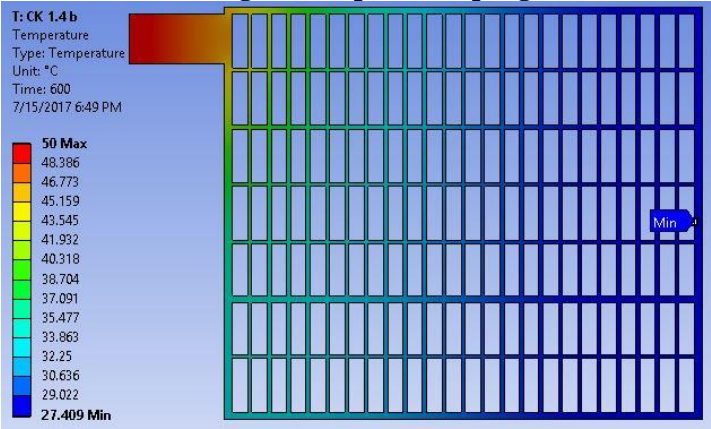
LAMPIRAN

Hasil Evaluasi Grid CK 1.4 Dengan Memperlebar Penghantar Seragam 1 mm

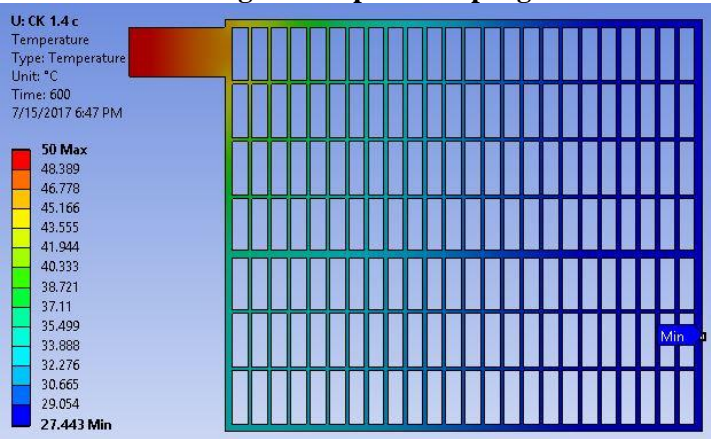
CK 1.4 dengan memperbesar penghantar A



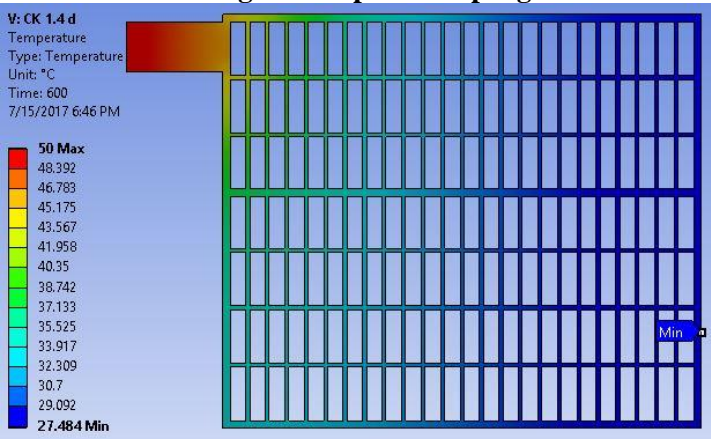
CK 1.4 dengan memperbesar penghantar B



CK 1.4 dengan memperbesar penghantar C

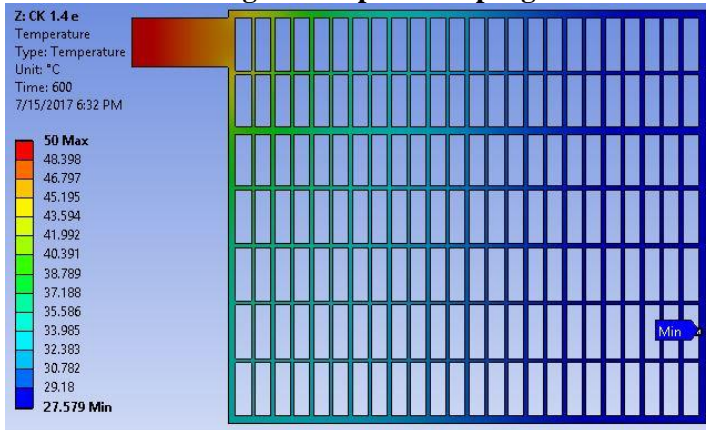


CK 1.4 dengan memperbesar penghantar D

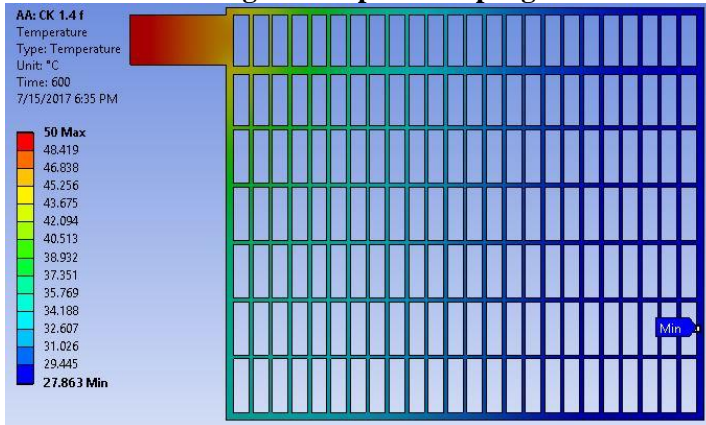




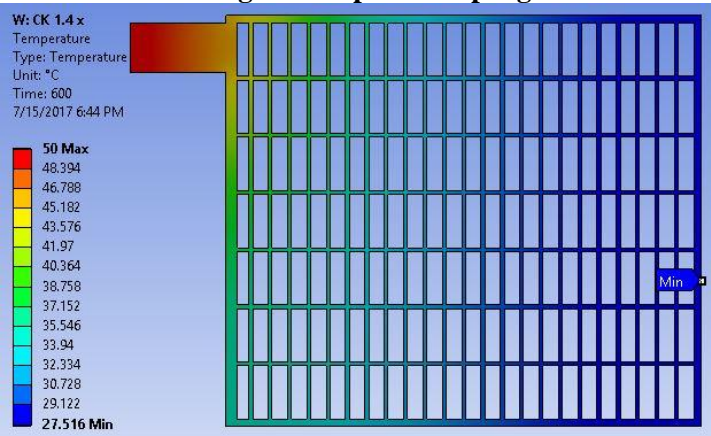
### CK 1.4 dengan memperbesar penghantar E



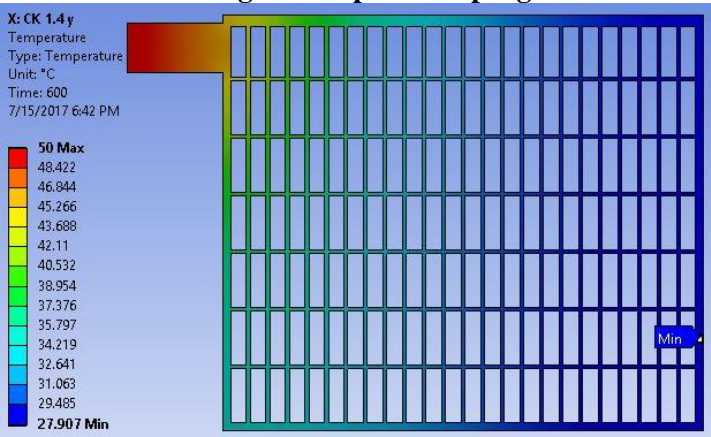
### CK 1.4 dengan memperbesar penghantar F



CK 1.4 dengan memperbesar penghantar X

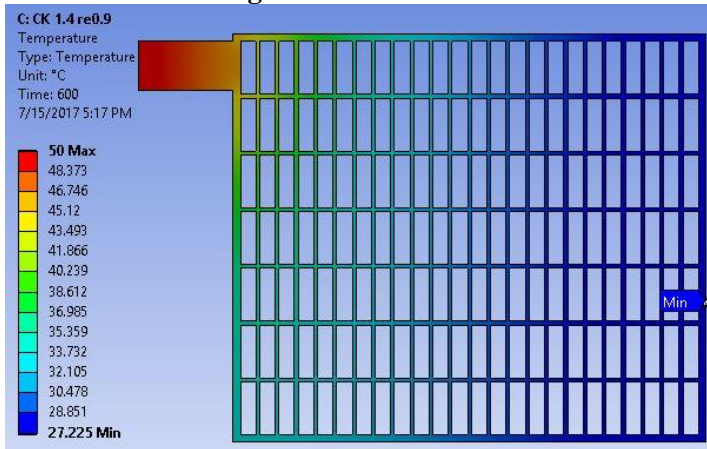


CK 1.4 dengan memperbesar penghantar Y



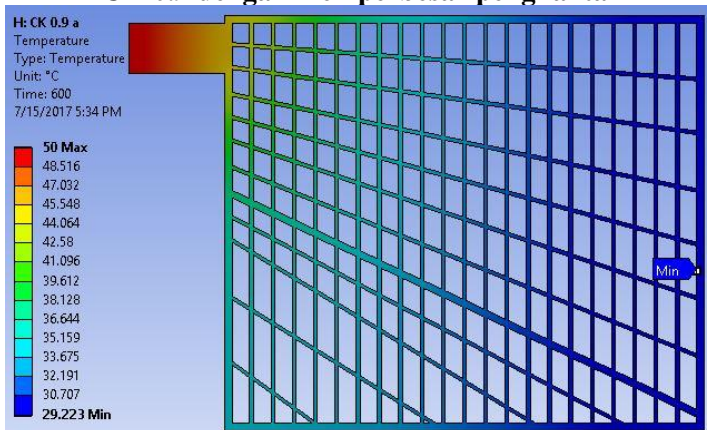
Hasil Evaluasi Grid CK 1.4 Dengan Memperkecil Ketebalan Menjadi 0.9 mm

### CK 1.4 Dengan Ketebalan 0.9 mm

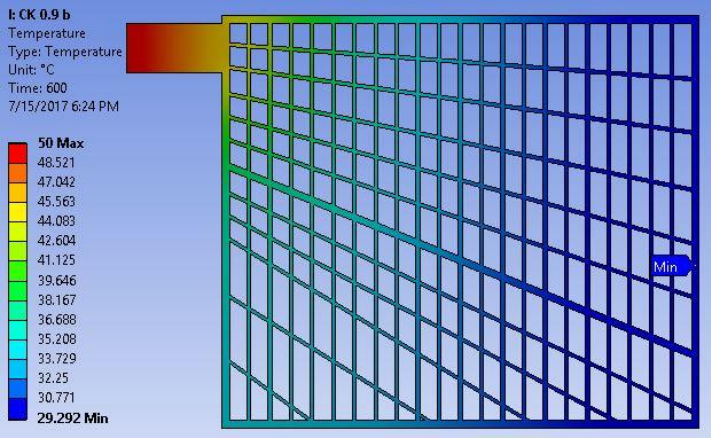


Hasil Evaluasi Grid CK 0.9 Dengan Memperlebar Penghantar Seragam 1 mm

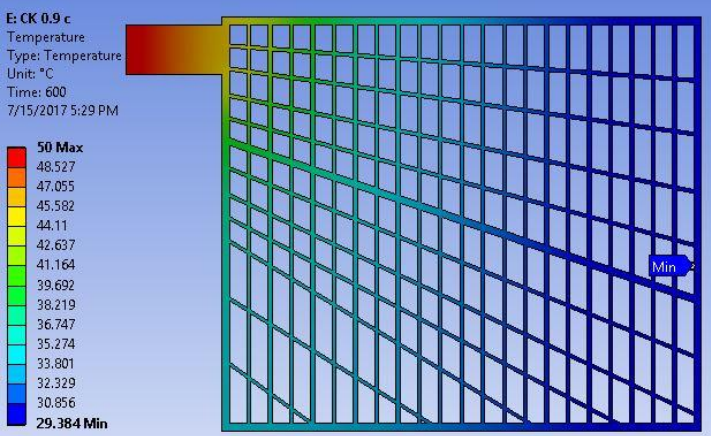
### CK 0.9 dengan memperbesar penghantar A



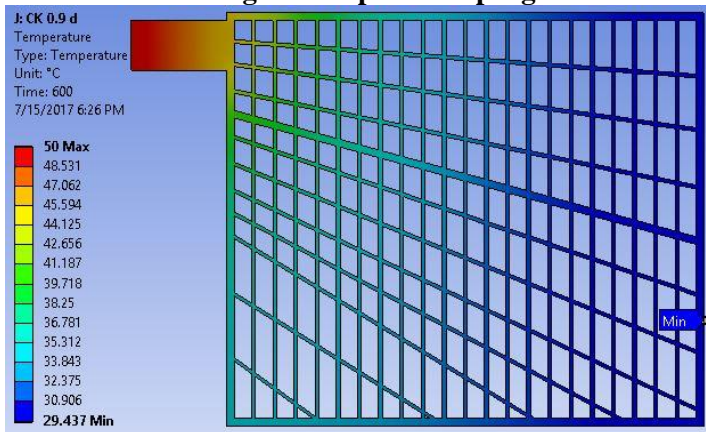
CK 0.9 dengan memperbesar penghantar B



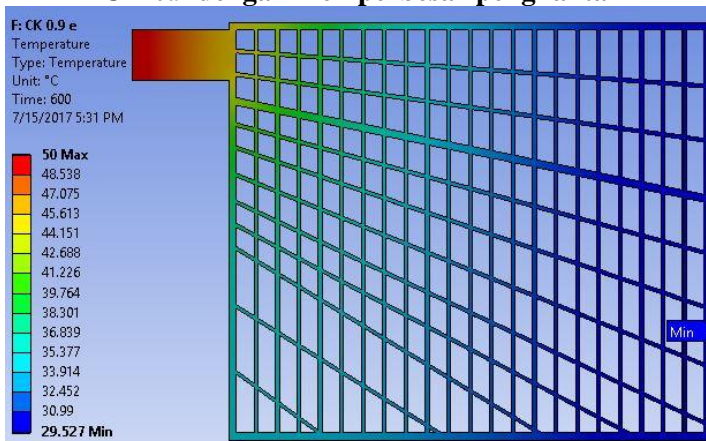
CK 0.9 dengan memperbesar penghantar C



### CK 0.9 dengan memperbesar penghantar D

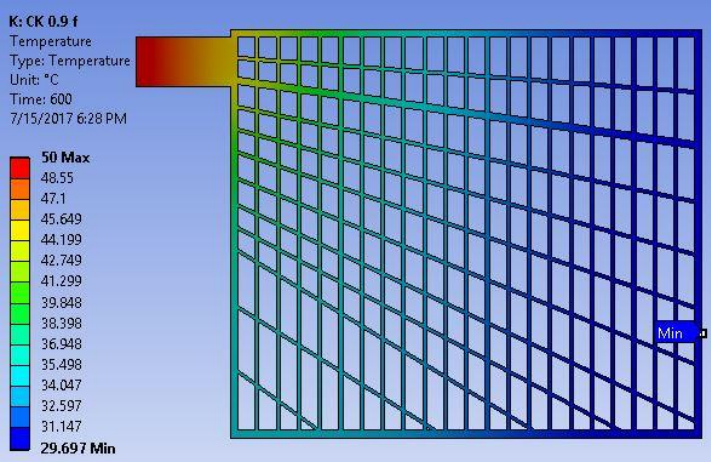


### CK 0.9 dengan memperbesar penghantar E

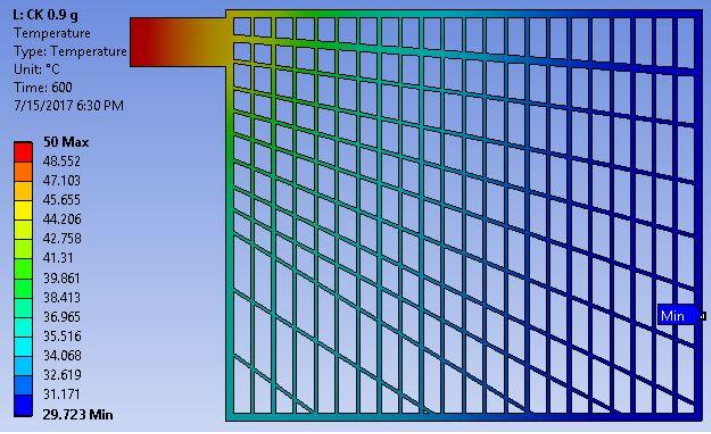




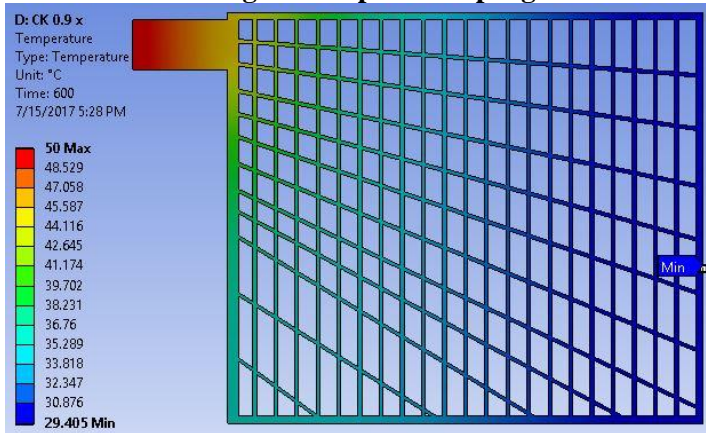
CK 0.9 dengan memperbesar penghantar F



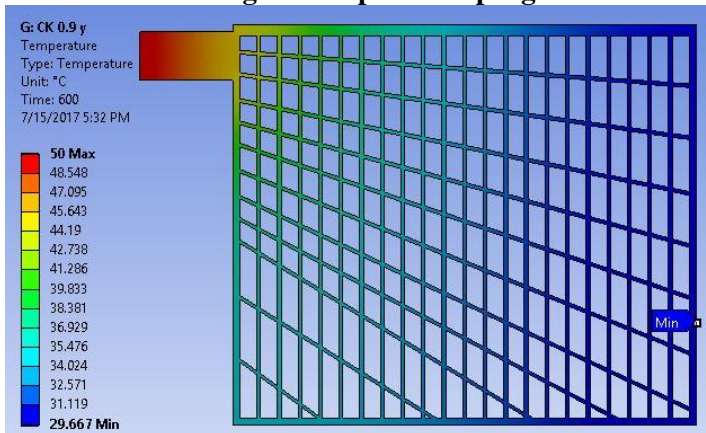
CK 0.9 dengan memperbesar penghantar G



### CK 0.9 dengan memperbesar penghantar X

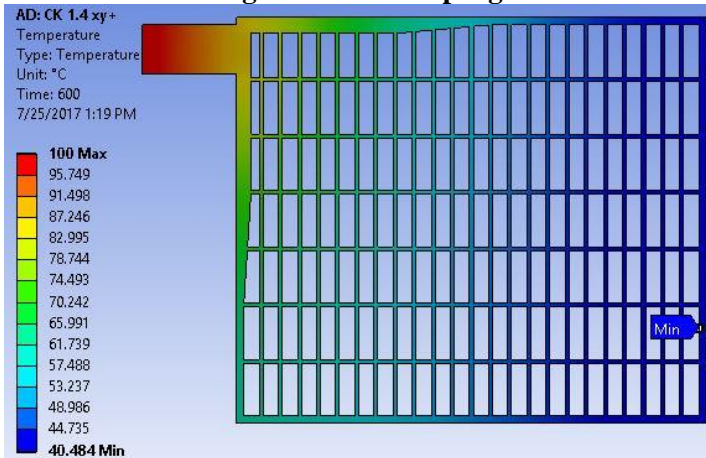


### CK 0.9 dengan memperbesar penghantar Y

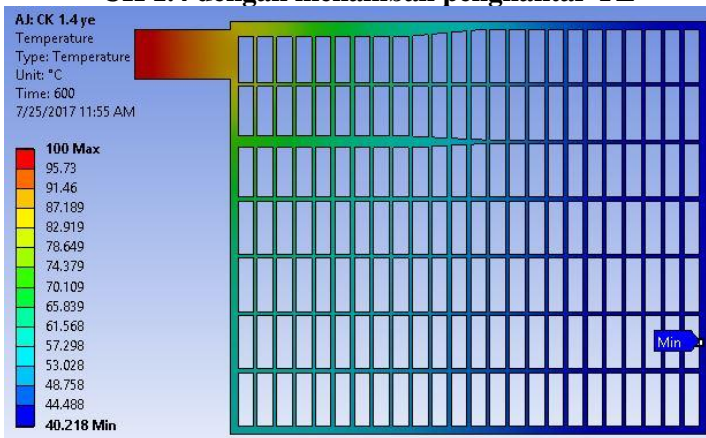


Hasil *Redesign* Grid CK 1.4 Dengan Menambah Penghantar Sebesar 2 Gram

### CK 1.4 dengan menambah penghantar XY

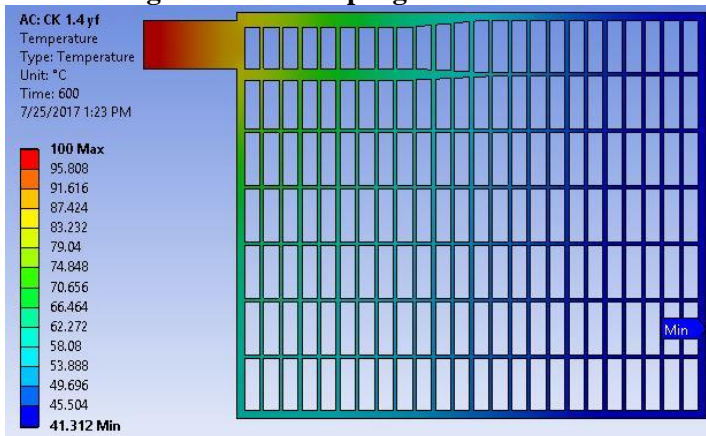


### CK 1.4 dengan menambah penghantar YE

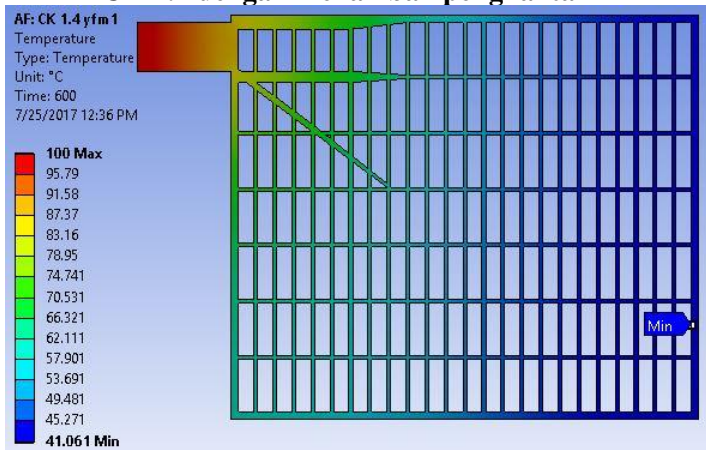




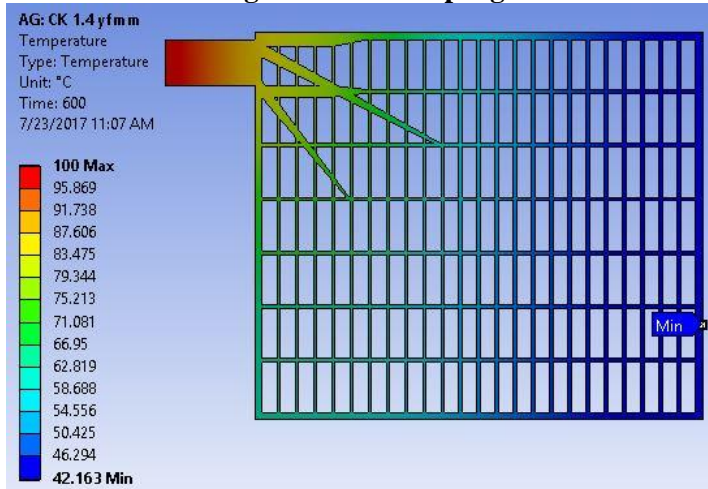
### CK 1.4 dengan menambah penghantar YF



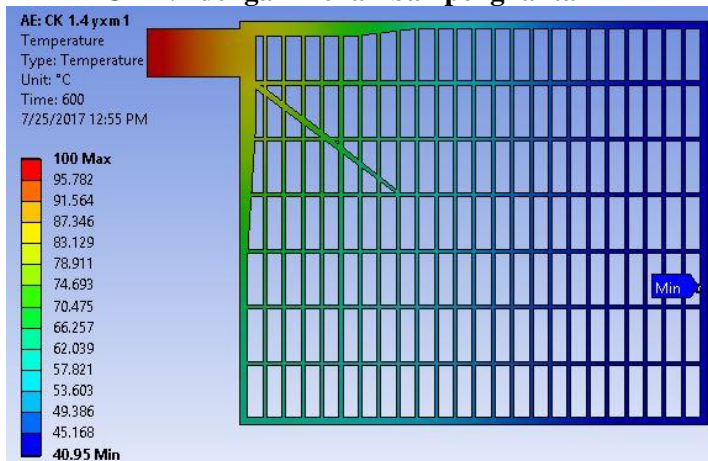
### CK 1.4 dengan menambah penghantar YFM



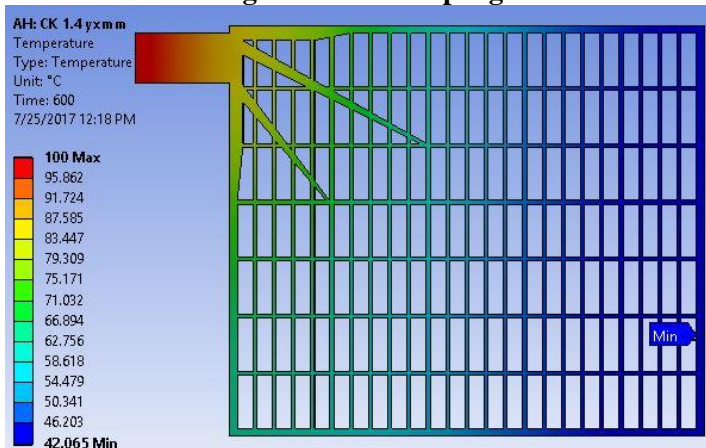
### CK 1.4 dengan menambah penghantar YFMM



### CK 1.4 dengan menambah penghantar YXM

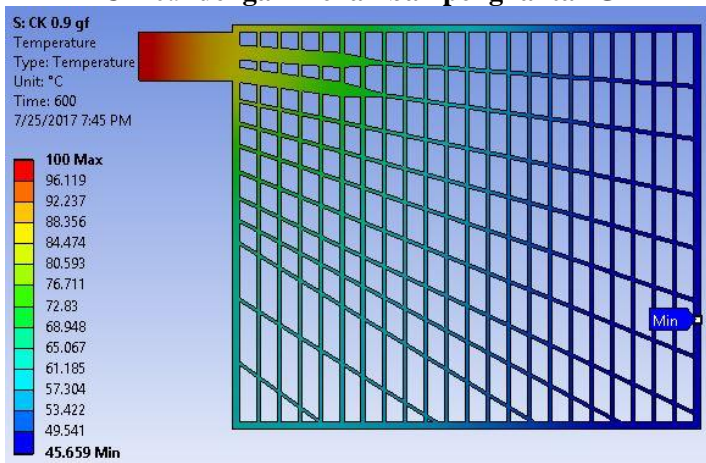


### CK 1.4 dengan menambah penghantar YXMM

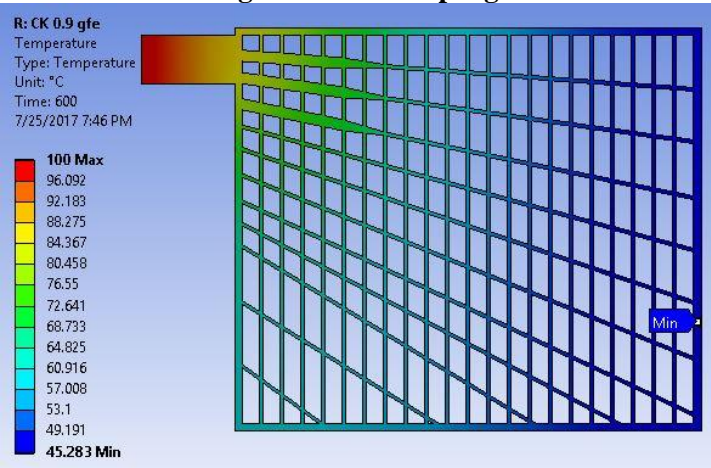


Hasil *Redesign* Grid CK 0.9 Dengan Menambah Penghantar Sebesar 2 Gram

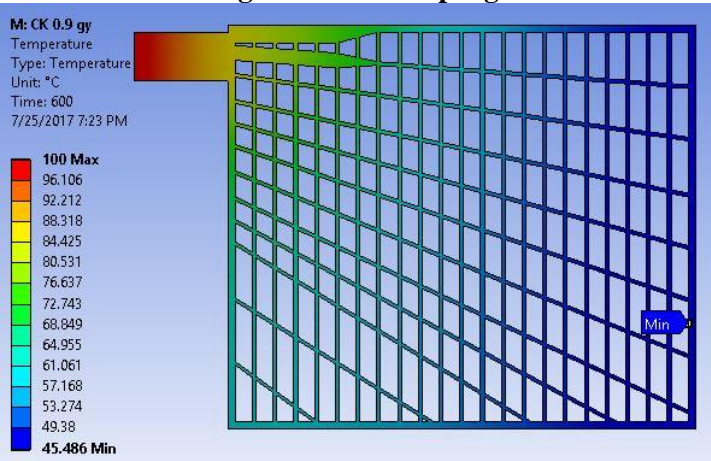
### CK 0.9 dengan menambah penghantar GF



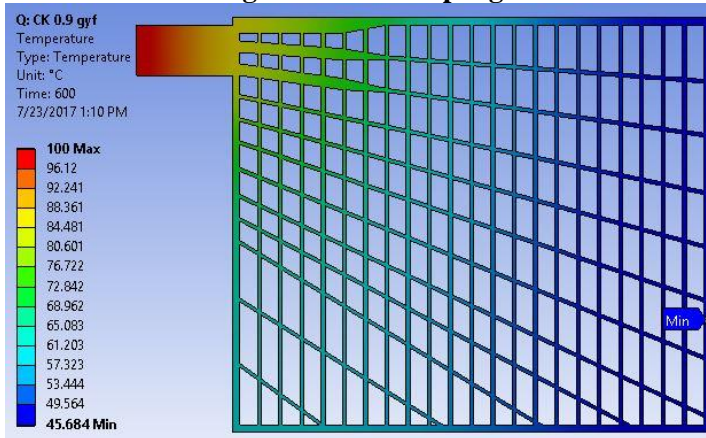
CK 0.9 dengan menambah penghantar GFE



CK 0.9 dengan menambah penghantar GY

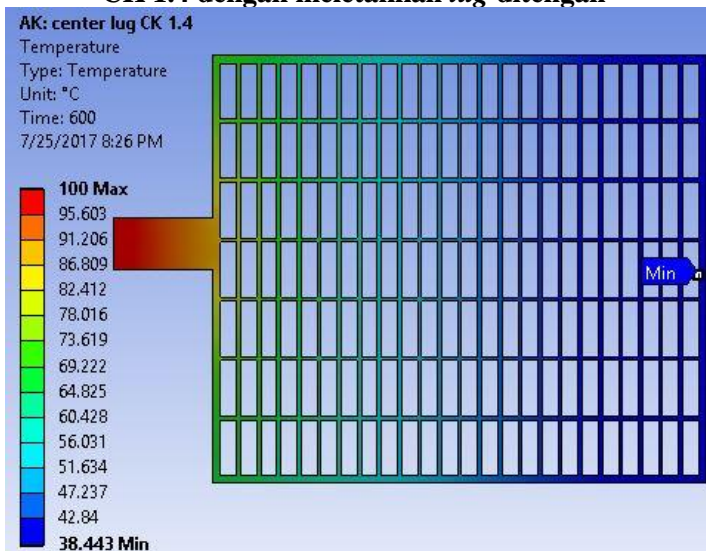


### CK 0.9 dengan menambah penghantar GYF



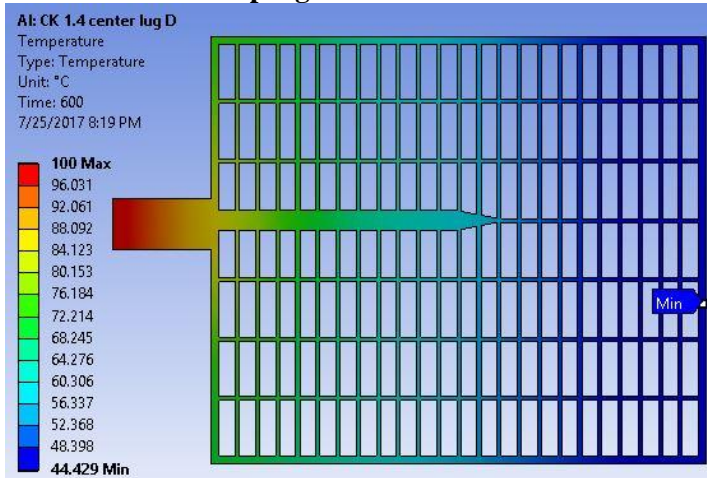
Hasil *Redesign* Grid CK 1.4 dan CK 0.9 Dengan Meletakkan *Lug* Ditengah

### CK 1.4 dengan meletakkan *lug* ditengah

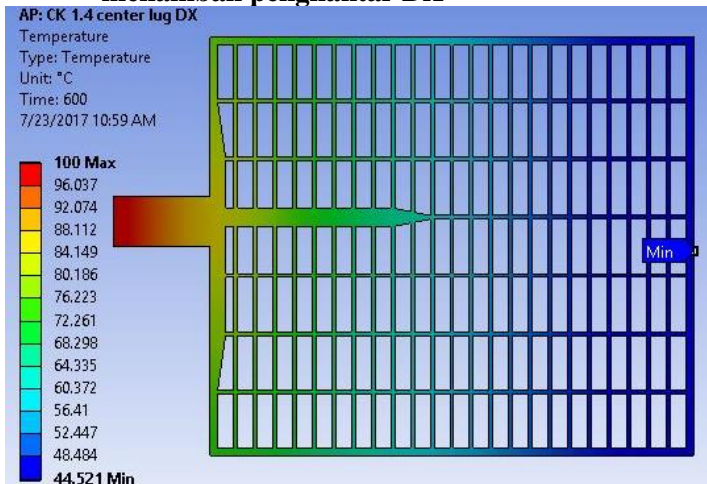




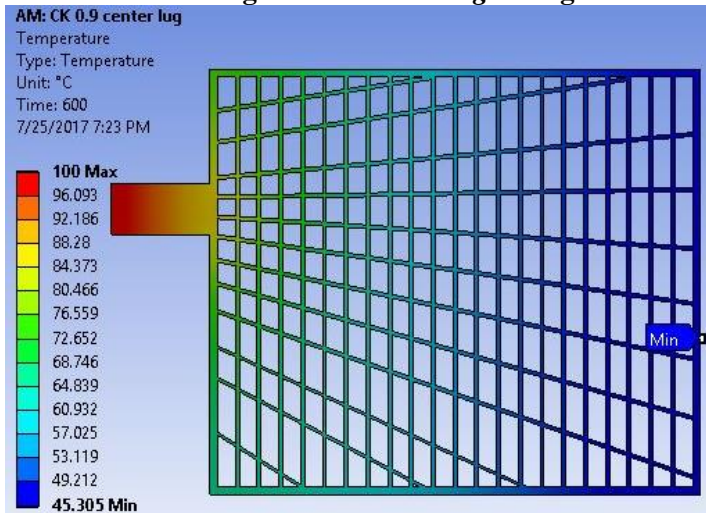
### CK 1.4 dengan meletakkan *lug* ditengah dan menambah penghantar D



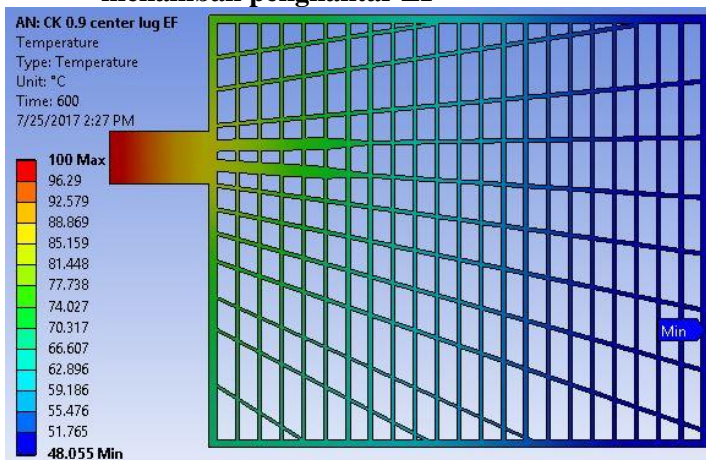
### CK 1.4 dengan meletakkan *lug* ditengah dan menambah penghantar DX



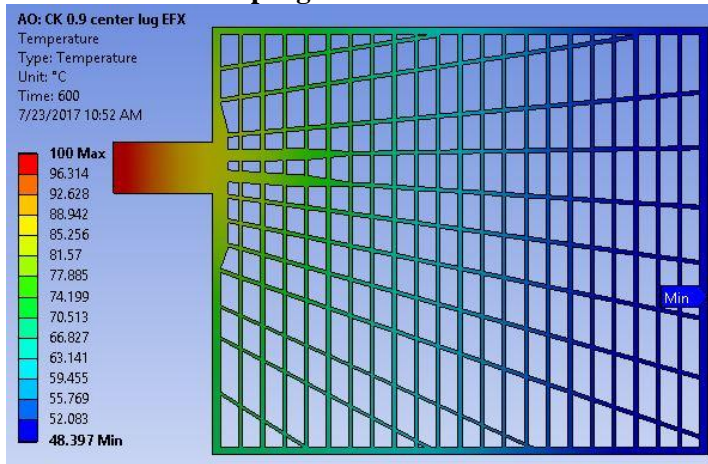
### CK 0.9 dengan meletakkan *lug* ditengah



### CK 0.9 dengan meletakkan *lug* ditengah dan menambah penghantar EF



**CK 0.9 dengan meletakkan *lug* ditengah dan menambah penghantar EF**





## BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Muhammad Ihsan**, dilahirkan pada tanggal 11 September 1994 di Jakarta, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu dimulai dari SD Negeri 05 Jakarta, SMP Negeri 96 Jakarta, dan SMA Negeri 6 Jakarta. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di salah satu Perguruan Tinggi terbaik di Indonesia tepatnya pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan memperoleh gelar Sarjana pada bulan September tahun 2017.

Di Jurusan Teknik Mesin ini penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Sistem Industri dengan Tugas Akhir yang fokus ke Optimasi Manufaktur. Semasa kuliah, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Garuda *Maintenance Facility AeroAsia* sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Indobatt Industri Permai. Penulis sempat aktif di Organisasi kemahasiswaan yaitu Mesin ITS Autosport dan mengemban amanah sebagai Ketua pada tahun 2014-2015. Dibawah kepemimpinan penulis, Mesin ITS Autosport pertama kalinya menyelenggarakan event Time Rally berskala Kejuaraan Daerah Jawa Timur. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan seperti *Indonesia Energy Marathon Challenge*, *Mechanical City*, Jiu Jitsu ITS, Muay Thai ITS, dll. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut: [ihsan.iji@gmail.com](mailto:ihsan.iji@gmail.com).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*